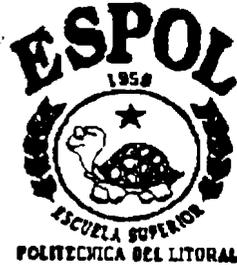


T  
620.132  
ABU



# **Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

## **“Mejoras en el proceso Productivo de una Fábrica de Transformación de Piedra Caliza”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la Obtención del Título de:**

**INGENIERO MECANICO**

**Presentada por:**

**Farid Mitre Abuhayar Hanze**

**Guayaquil - Ecuador**

**Año - 2002**



# AGRADECIMIENTO

A todas aquellas personas que me ayudaron a culminar mi carrera, a mis padres por darme la oportunidad de estudiar, a mi esposa por apoyarme en todo momento y a mi director de Tesis Ing. Ernesto Martínez.

# DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Alice y Mitre, a mi esposa Sylvie y especialmente a mi querida nena María José.

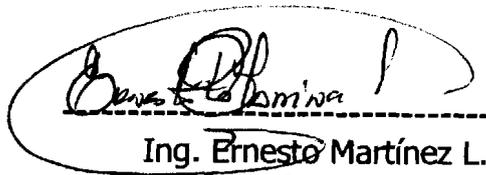


## TRIBUNAL DE GRADUACION



---

Ing. Francisco Andrade S.  
SUBDECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE



---

Ing. Ernesto Martínez L.  
DIRECTOR DE TESIS



---

Ing. Manuel Helguero G.  
VOCAL

(+)

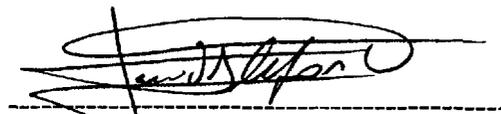
---

Ing. Edmundo Villacís M.  
VOCAL

## DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado me corresponden exclusivamente y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Farid Mitre Abuhayar Hanze

## RESUMEN

El presente proyecto analiza el proceso productivo para la transformación de la piedra caliza en piezas regulares y sus derivados en diferentes acabados superficiales, a partir de piedras extraídas de las canteras de tamaños irregulares y medidas relativamente pequeñas.

Ante la fuerte demanda de éste producto y la falta de empresas industrializadas con un proceso productivo que tenga un método de trabajo organizado y eficiente y que cumpla con las normas de calidad requeridas, me veo en la necesidad de exponer mis conocimientos que he venido adquiriendo al trabajar cuatro años como Gerente de producción en una empresa Ecuatoriana y tres años en una empresa española especializada en la fabricación de maquinaria de corte y herramientas diamantadas.

Actualmente la piedra caliza es extraída en las canteras ubicadas en la vía a la costa de la ciudad de Guayaquil (Ecuador) y es procesada en pequeñas plantas con maquinaria artesanal y obsoleta, las mismas que conllevan a un proceso con mucho desorden y desperdicio.

El primer paso que interviene en este proceso es la extracción de la materia prima en las canteras y su respectivo transporte y recepción en las fábricas, la misma que es cortada en bloques regulares para su posterior corte en planchas o tajadas.

Estas planchas son pasadas por unas cortadoras (longitudinales) que lo que hacen es dejar la medida deseada a lo largo de toda la plancha, para luego pasar por otra cortadora (transversal) en la cual se realizan los cortes para obtener varias plaquetas con escuadra perfecta.

Por último estas plaquetas son introducidas en túneles de calibrado y pulido, dejándolas listas para su instalación en obra.

La metodología a seguir es la de analizar las etapas del proceso, describiendo el actual sistema y sugerir las mejoras pertinentes basándonos en las actuales sistemas de producción.

Al finalizar este proyecto se presenta un diseño y distribución de planta con los requerimientos de equipos básicos, el mismo que servirá para que las empresas del sector hagan las mejoras pertinentes y como guía para los empresarios que quieran empezar con un proyecto de este tipo.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
INDICE GENERAL.....	II
ABREVIATURAS.....	III
SIMBOLOGIA.....	IV
INDICE DE FIGURAS.....	V
INDICE DE TABLAS.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
1. DESCRIPCION DEL PROCESO .....	3
1.1 LA EXPLOTACION DE LA PIEDRA NATURAL .....	13
1.2 USOS DE LA PIEDRA ORNAMENTAL EN LA CONSTRUCCION.....	14
1.3 ANALISIS GEOGRAFICO DE LA PLANTA .....	17
1.4 LA MATERIA PRIMA.....	17
2. PROCESO DE PRODUCCION ACTUAL.....	21
2.1 CAPACIDAD DE LAS FABRICAS .....	29
2.2 CALIDAD DEL PRODUCTO Y PROCESO PRODUCTIVO.....	29
3. MEJORAS DEL PROCESO.....	33
3.1 CONSIDERACIONES A TOMAR EN CUENTA PARA	

UNA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL CORTE DE LA PIEDRA.....	33
3.2 INFLUENCIA DE LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL SISTEMA DE CORTE CON DISCOSDIAMANTADOS.....	55
3.3 INFLUENCIA DE LAS CARACTERISTICAS PETROGRAFICAS EN EL CORTE DE ROCAS ORNAMENTALES CON DISCOS DIAMANTADOS.....	63
3.4 ANALISIS MEDIOAMBIENTAL.....	65
3.6 SISTEMA DE RECUPERACION DE POLVO Y RECICLADO DEL AGUA.....	65
4. DISEÑO DE PLANTA .....	73
4.1 DESCRIPCION DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	73
4.2 SELECCION DE LAS MAQUINAS .....	73
4.3 DISTRIBUCION DE PLANTA .....	86
4.4 OPTIMIZACION DE RECURSOS.....	89
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104

APENDICES

BIBLIOGRAFÍA



## ABREVIATURAS

cm <sup>2</sup> /min	Centímetros cuadrados por minuto
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de calcio
cm	Centímetros
HP	Caballos de fuerza
Lt/min	Litros por minuto
mm	Milímetros
mt/seg	Metros por segundo
mt <sup>3</sup> /h	Metros cúbicos por hora
qq	Quintales

## SIMBOLOGÍA

$\varnothing$	Diámetro
$\pi$	Valor constante de 3.14
A	Área
H	Altura
L	Longitud
n	Revoluciones por minuto
t	Tiempo
Vc	Velocidad de corte
Vp	Velocidad periférica

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1	Diagrama de proceso para la obtención de las plaquetas.....	3
Figura 1.2	Vista de la operación de bloqueo.....	4
Figura 1.3	Vista de la operación de bloqueo.....	5
Figura 1.4	Esquema del proceso de tajado.....	6
Figura 1.5	Vista de la una máquina tajadora.....	6
Figura 1.6	Operación de corte longitudinal.....	7
Figura 1.7	Esquema del proceso de corte longitudinal.....	8
Figura 1.8	Operación de corte transversal.....	9
Figura 1.9	Esquema del proceso de corte transversal.....	10
Figura 1.10	Operación de calibrado.....	11
Figura 1.11	Operación de pulido manual.....	12
Figura 1.12	Extracción de la piedra en cantera.....	14
Figura 1.13	Instalación de baldosas de mármol.....	15
Figura 1.14	Uso de la piedra como fachada.....	16
Figura 1.15	Se observa la piedra caliza en bloques.....	18
Figura 2.1	Movimiento manual de puente para cortadora de bloque.....	21
Figura 2.2	Movimiento manual del desplazamiento longitudinal o de corte (desplazamiento del carro).....	22
Figura 2.3	Movimiento manual del desplazamiento vertical del cabezal de corte.....	23
Figura 2.4	Instalación con motor Diesel.....	24
Figura 2.5	Desorden generado por desperdicios.....	25
Figura 2.6	Paletas para la colocación de plaquetas.....	27
Figura 3.1	Corte con diferentes diámetros.....	36
Figura 3.2	Parámetros para el cálculo de la velocidad de corte.....	38
Figura 3.3	Sistemas de refrigeración.....	40
Figura 3.4	Esquema del proceso de corte.....	43
Figura 3.5	Medidas plato de sujeción.....	47
Figura 3.6	Excentricidad de eje y alabeo de platos de sujeción.....	48
Figura 3.7	Perpendicularidad del eje.....	49
Figura 3.8	Salto axial y alabeo del disco.....	50
Figura 3.9	Paralelismo de la mesa vs. Disco.....	51
Figura 3.10	Abrasivo modelo utilizado para pulir y abrillantar.....	53
Figura 3.11	Cortadora de bloque.....	56
Figura 3.12	Discos de corte.....	58
Figura 3.13	Diamante para la elaboración de segmentos.....	60

Figura 3.14	Matriz o ligante del segmento.....	61
Figura 3.15	Secuencia de la fractura del diamante durante el corte....	62
Figura 3.16	Vista periférica de un segmento.....	63
Figura 3.17	Fango compactado en forma de tortas.....	66
Figura 3.18	Planta depuradora de agua.....	69
Figura 3.19	Esquema de proceso de recuperación de lodo.....	70
Figura 4.1	Bloqueadora.....	74
Figura 4.2	Cortadora de tajadas.....	76
Figura 4.3	Cortadora longitudinal .....	77
Figura 4.4	Cortadora transversal .....	79
Figura 4.5	Cortadora transversal simple.....	80
Figura 4.6	Pulidora de brazo.....	82
Figura 4.7	Pulidora calibradora-pulidora automática.....	84
Figura 4.8	Biseladora de aristas.....	85
Figura 4.9	Ubicación de cortadoras de bloques y tajadas.....	87
Figura 4.10	Esquema de línea de escuadrado y pulido.....	88
Figura 4.11	Esquema del proceso en "U".....	89
Figura 4.12	Esquema del desdoblamiento de tajadas.....	91
Figura 4.13	Esquema de nueva línea de escuadrado y pulido.....	91
Figura 4.14	Máquina desdobladora.....	93
Figura 4.15	Relación de producto y subproductos.....	95
Figura 4.16	Porcentajes de gastos operativos.....	96
Figura 5.1	Forma correcta de la colocación de un disco.....	106
Figura 5.2	Forma correcta de realizar el corte de una baldosa.....	108
Figura 5.3	Forma errónea de realizar el corte de una baldosa.....	108

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Velocidades periféricas aconsejadas.....	34
Tabla 2	Formato para el cálculo de la velocidad de corte.....	37
Tabla 3	Velocidades de corte aconsejadas.....	39
Tabla 4	Caudal de agua aconsejado por fabricantes de discos.....	40
Tabla 5	Potencia recomendada de cabezal de corte.....	44
Tabla 6	Dimensiones aconsejadas para platos de sujeción.....	47
Tabla 7	Tabla de tolerancias para montaje de discos.....	52
Tabla 8	Orden de granos abrasivos para calibrar y pulir.....	55
Tabla 9	Características técnicas de la bloqueadora.....	75
Tabla 10	Características técnicas de la tajadora.....	76
Tabla 11	Características técnicas de la cortadora longitudinal.....	78
Tabla 12	Características técnicas de la cortadora transversal.....	79
Tabla 13	Características técnicas de la cortadora transversal simple.....	81
Tabla 14	Características técnicas de la pulidora de brazo.....	82
Tabla 15	Características técnicas de la calibradora-pulidora.....	84
Tabla 16	Características técnicas de la biseladora.....	85
Tabla 17	Características técnicas de la desdobladora.....	93
Tabla 18	Inversión para máquinas nuevas.....	87

# INTRODUCCIÓN

El presente estudio muestra el actual proceso con que cuentan las mayorías de las fábricas procesadoras de piedra caliza del país. Además se dan soluciones a problemas actuales, mejoras al proceso productivo y para aquellos que están interesados en montar industria similares les servirá como guía para su elaboración.

Hay que tener en cuenta que la primera etapa del proceso se lleva a cabo en las canteras en donde se extraen las piedras de las cuales se van a obtener las plaquetas o baldosas de mármol. Esta etapa es muy importante, ya que es recomendable tener un control de la calidad de la piedra que es llevada a la planta procesadora, con el fin de no encontrarse con piedras con fisuras y de tamaño reducido incrementándose así el desperdicio y por consiguiente la disminución del rendimiento y el aumento del consumo innecesario de la herramienta de corte.

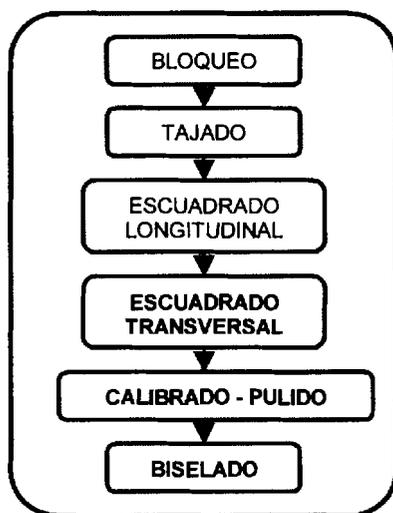
El proceso de corte consiste inicialmente en la obtención de bloques regulares de una piedra por naturaleza irregular y a partir de estos la obtención de tajadas regulares en función de la medida de baldosa requerida por la orden de fabricación.

Este proceso inicialmente no sigue las mismas etapas como son obtenidas las plaquetas de mármol en las canteras Italianas o Españolas, ya que la piedra extraída en estos países es homogénea y compacta. Es por esto, que se ha desarrollado un proceso sistemático para la obtención de las tajadas. De la obtención de estas tajadas en adelante se sigue el proceso estandarizado y universal. Seguidamente entra el proceso de escuadrado y finalmente el de acabado superficial.

# CAPITULO 1

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Las etapas por las que pasa una piedra natural, desde las canteras en las que se encuentran, hasta poder apreciar su belleza en la construcción, abarca todo un proceso que incluye la fase de extracción en cantera, dimensionado de piezas, corte y acabado superficial, a las que se podría añadir la comercialización y colocación. El proceso productivo resumido se expone en la figura 1.1

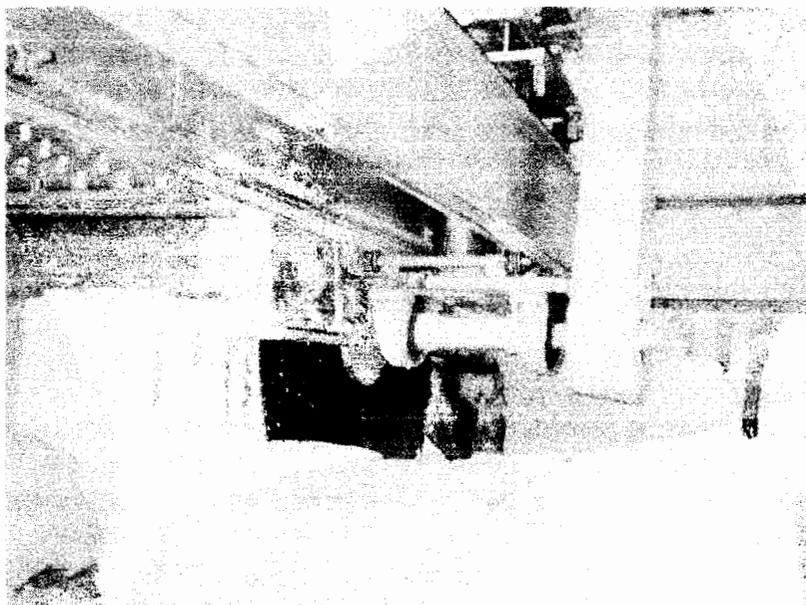


**Figura # 1.1 Diagrama de proceso para la obtención de las plaquetas**

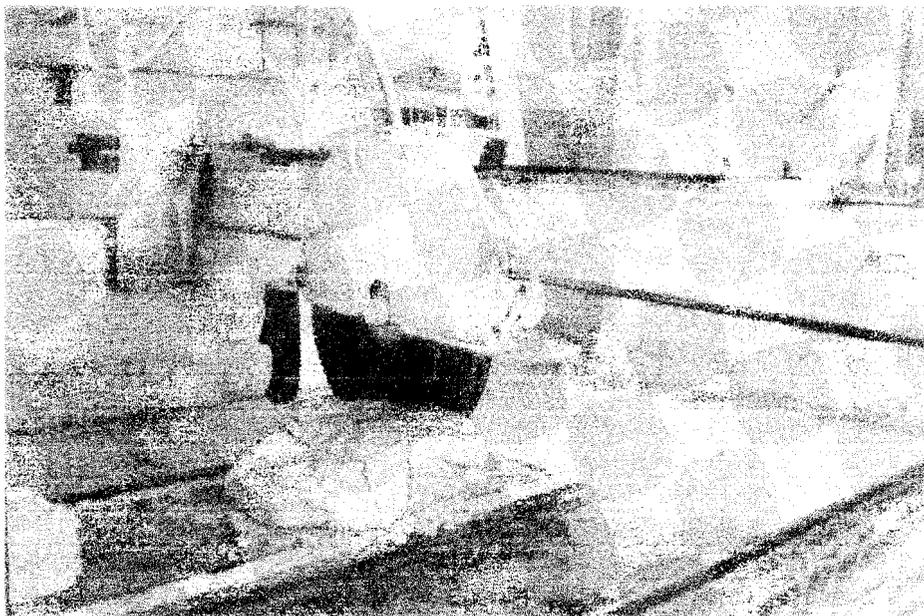
A continuación se detalla cada una de las etapas del proceso para la obtención de plaquetas, ya que éste sería el producto principal a obtener:

## **Bloqueo**

Esta es la primera de las etapas de corte. Se colocan las piedras en mesas en donde es cortada en pequeños bloques de medidas que varían en función de la plaqueta que se quiere obtener al final del proceso. Este corte se lo realiza con máquinas llamadas cortabloques, al finalizar la explicación de cada proceso se expondrá un ejemplo en el que se detallará la obtención de las medidas y su importancia para llegar a obtener el producto deseado en función del programa maestro de fabricación.



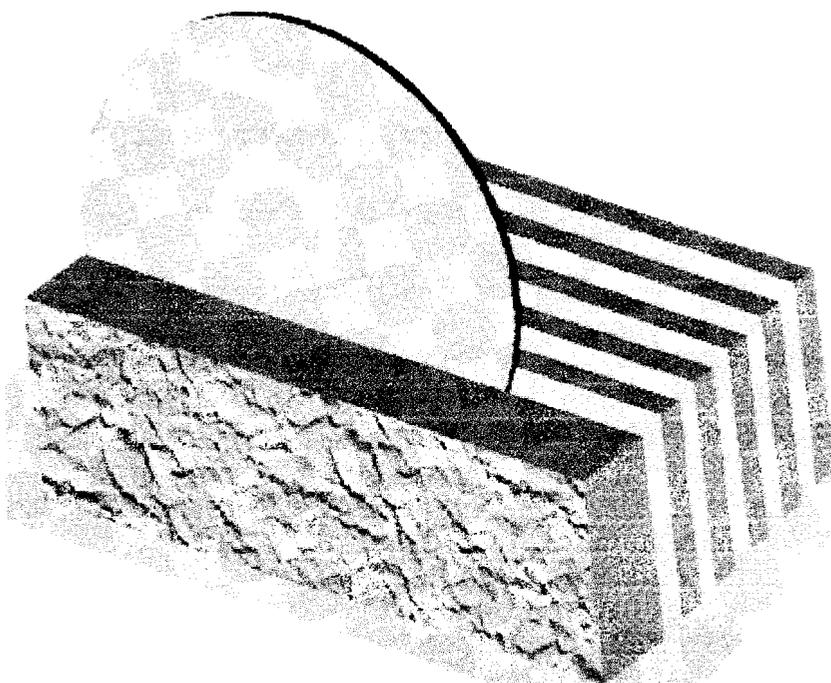
**Figura # 1.2 Vista frontal de la operación de bloqueo**



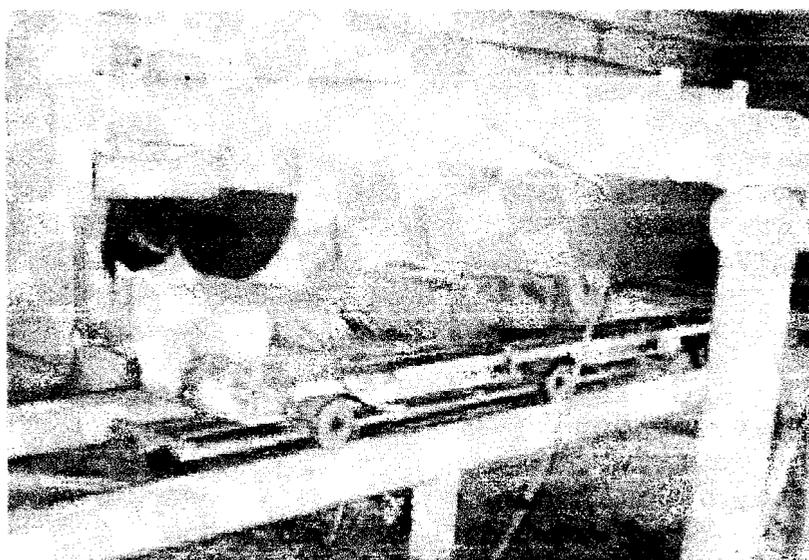
**Figura # 1.3 Vista lateral de la operación de bloqueo**

### **Tajado**

Este proceso consiste en el corte consecutivo de planchas de un espesor determinado a lo ancho de todo el bloque. La operación de cortar con discos infiere a la superficie rocosa unas ligeras marcas consistentes en surcos y ondulaciones (0,1 – 0,5 mm de profundidad) que siguen direcciones curvas y concéntricas. No obstante, a pesar de esa posible ligera rugosidad, la cara cortada es muy plana y a veces totalmente lisa pero algo áspera; Por lo que se requiere un previo proceso de calibrado antes de ser pulido. El espesor de las tajadas varía de 14 a 15 mm.



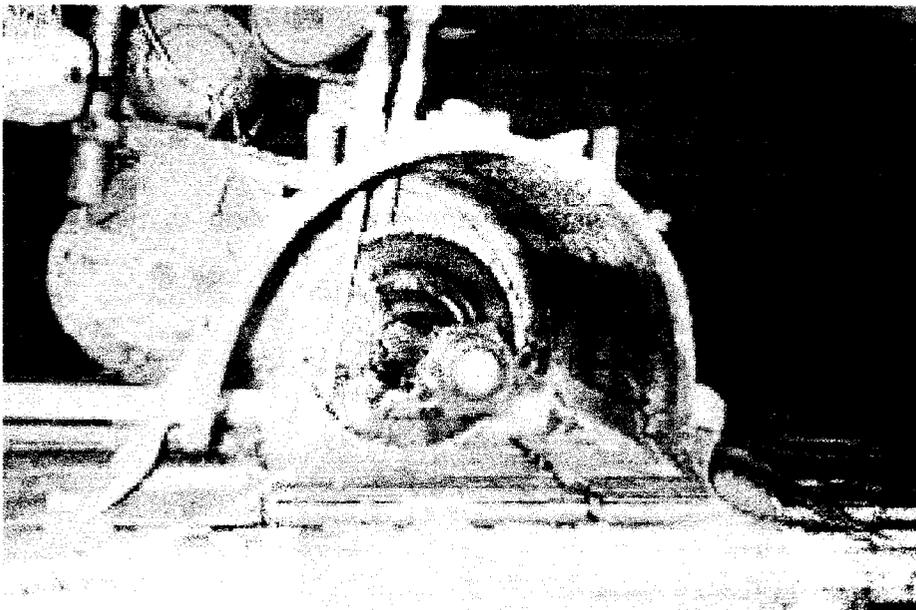
**Figura # 1.4 Esquema del proceso de tajado**



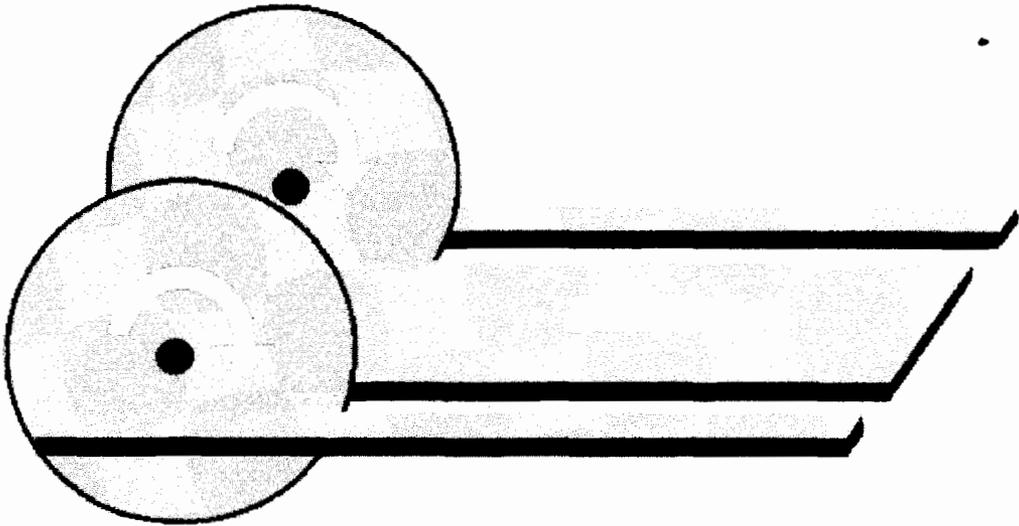
**Figura # 1.5 Vista de una máquina tajadora**

## Corte Longitudinal

Las tajadas provenientes del proceso anterior son pasadas por una máquina denominada cortadora longitudinal, la misma que realiza el corte superior e inferior de la tajada a lo largo de la misma, dejando como definitiva una de las medidas requeridas. Esta máquina esta compuesta básicamente por una cinta transportadora y dos cabezales de corte, como se lo muestra en la figura # 1.6 y 1.7.



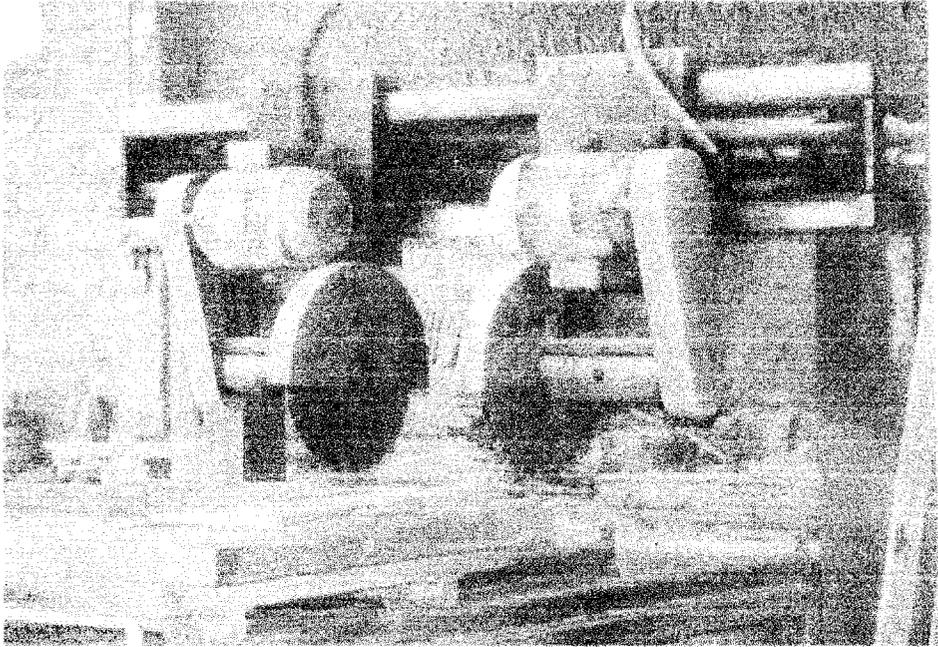
**Figura # 1.6 Operación de corte longitudinal**



**Figura # 1.7 Esquema del proceso de corte longitudinal**

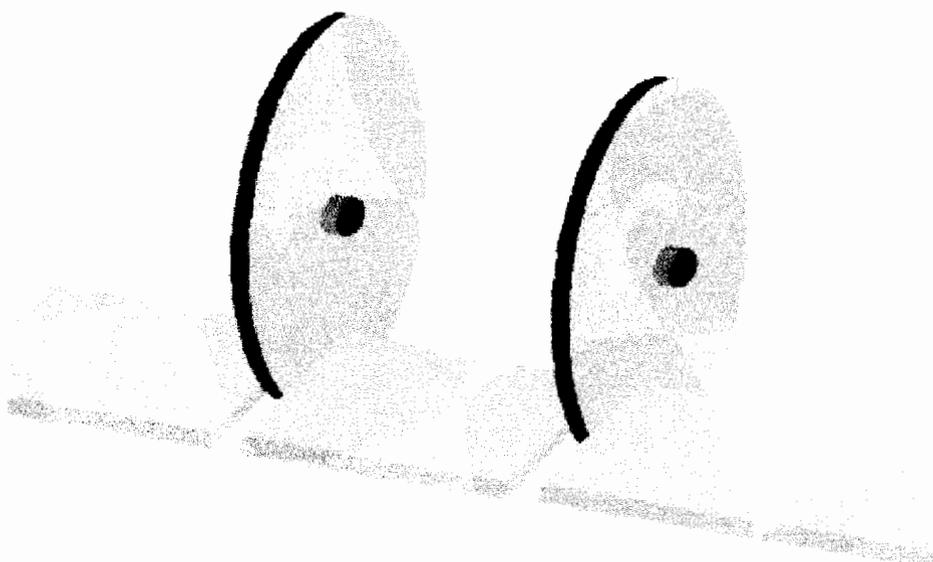
### **Corte Transversal**

En esta etapa del proceso lo que se hace es cortar en sentido perpendicular al corte anterior esto es a lo ancho de la tajada. Esta máquina denominada cortadora transversal o escuadradora consta de una mesa en donde son colocadas las planchas y con un número de cabezales móviles que pueden ir desde uno hasta diez, dependiendo el largo de las tajadas que se obtienen. Para este tipo de piedra es suficiente dos cabezales, ya que las tajadas obtenidas no son muy largas. Suelen haber otros tipos de máquinas que lo que es móvil es la mesa y fijo los cabezales de corte.



**Figura # 1.8 Operación de corte transversal**

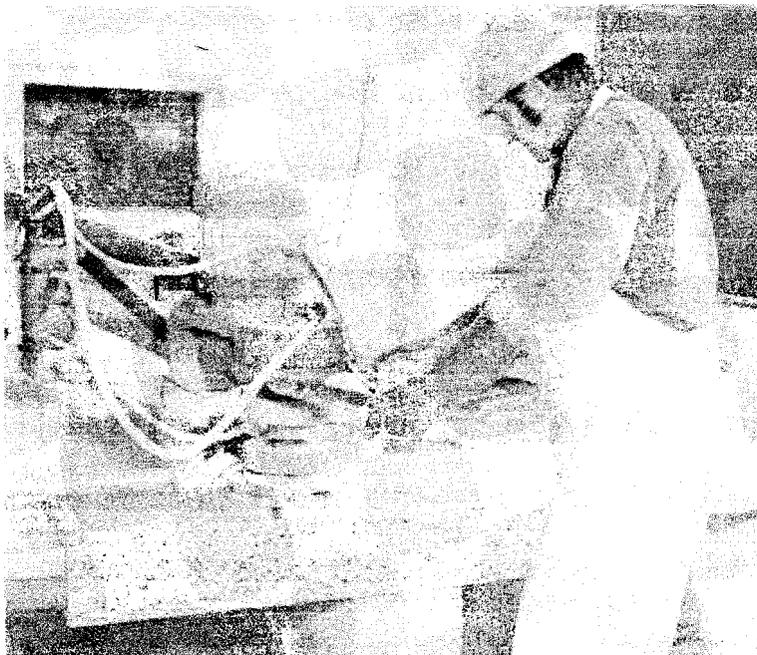
En las fábricas que no poseen líneas de acabado superficial y tiene una producción relativamente alta, lo que hacen es entregar el material desbastado (tal como sale del corte) e instalarlo con resina en la obra y luego proceder a su pulido en sitio por parte del maestro instalador, o puede ser subcontratado el proceso de pulido en alguna otra empresa con capacidad de hacerlo.



**Figura #1.9 Esquema del proceso de corte transversal**

### **Calibrado**

El calibrado deja la superficie preparada a la medida de tres o cuatro décimas más de la medida definitiva, que posteriormente se rebaja en la etapa de pulido. Este proceso en las fabricas artesanales se lo hace en la misma pulidora de brazo cambiando manualmente el grano en cada operación, hasta dejar la plaqueta en la medida requerida. Los números de grano utilizados van del No. 45 hasta el 120, según norma ASTM E11 (mesh.). Las equivalencias de los tamaños de grano se representan tabulados en el apéndice B.



**Figura # 1.10 Operación de calibrado manual**

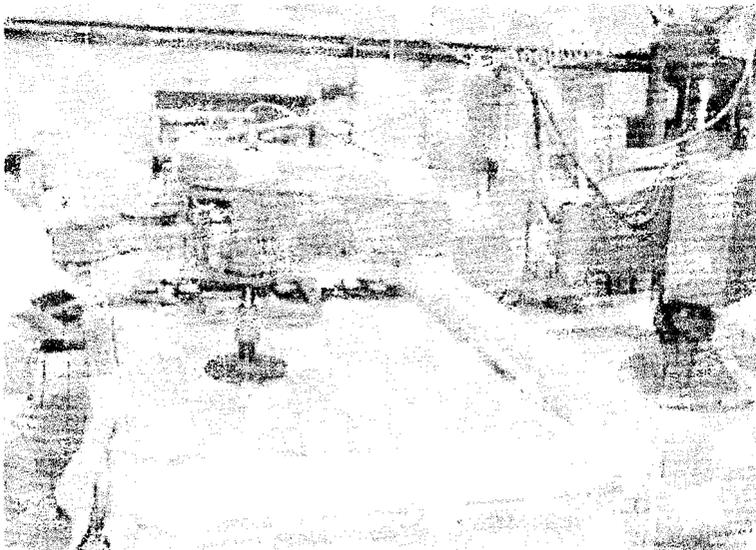
### **Pulido**

Es el tratamiento más conocido y frecuente de la superficie de tableros de mármol y granitos, que son las rocas que poseen el suficiente grado de cristalinidad necesario, constituyendo la última parte del proceso del progresivo alisamiento con abrasivos a que se someten estos materiales, cuyo objeto es la consecución del brillo.

Se utilizan sucesivamente abrasivos de grano progresivamente decreciente. Las máquinas modernas más habituales constan de varios brazos con cabezales de muelas abrasivas que giran con movimiento de rotación para el caso del mármol y además con traslación pendular para

el caso del granito, a lo largo de la cadena del proceso. En las empresas artesanales lo que hacen es pulir con máquinas de un solo cabezal y realizar el trabajo y el cambio de abrasivos de forma manual.

En este proceso se consigue una superficie lisa, plana y brillante sin ningún tipo de raya o arañazo visible. Este procedimiento además de proporcionar unas características estéticas específicas, contribuye a dejar una porosidad cerrada y a dotar al material de una gran resistencia a las agresiones externas. El pulido resalta espectacularmente el aspecto de la roca, observándose claramente su textura y colores. El tono que se obtiene es más oscuro que el logrado con otros tratamientos superficiales. Los granos que se utilizan para el pulido van del No. 60 hasta el 3600, y un último grano en base de ácido oxálico para darle el abrillantado.



**Figura # 1.11 Operación de pulido manual**

## **Biselado**

La biseladora como su nombre lo indica realiza un bisel de uno o dos milímetros a las cuatro aristas de la plancha. En el caso de las marmolerías artesanales se lo realiza con amoladoras de mano.

### **Ejemplo de cálculo para el corte de bloques:**

Para el caso de necesitar como producto final plaquetas de 30 x 30cm, se obtienen a partir de la piedra en bruto bloques de 33cm por el largo de la piedra, para luego al voltearla sobre una de las caras planas cortar las planchas de 33cm de alto por largo de la misma a un espesor de 14 mm, luego en la cortadora longitudinal se quita el excedente por ambas partes dejándola de forma paralela a 30cm x largo para posteriormente pasar a la cortadora transversal, la misma que saca varias planchas de 30 x 30cm a escuadra dependiendo del largo de la tajada obtenida. Como subproducto se obtiene placas de 15 x 30 cm si la piedra sobrante lo permite o si no retazos variados, los mismos que son colocados en paletas por pisos de 1 x 1mt, para comercializarlo de esa manera.

### **1.1 La explotación de la piedra natural**

El proceso de explotación se realiza a cielo abierto y casi siempre es necesario efectuar un desmonte previo a esta labor. Luego de tener limpia el área en la cual se va a realizar la extracción de la

pedra, se utiliza la voladura instantánea a partir de dinamita o la voladura eléctrica. Posteriormente es extraída la piedra con tractores y retroexcavadoras, las mismas que son colocadas en camiones plataformas o Volquetas para ser transportadas a las plantas industriales.



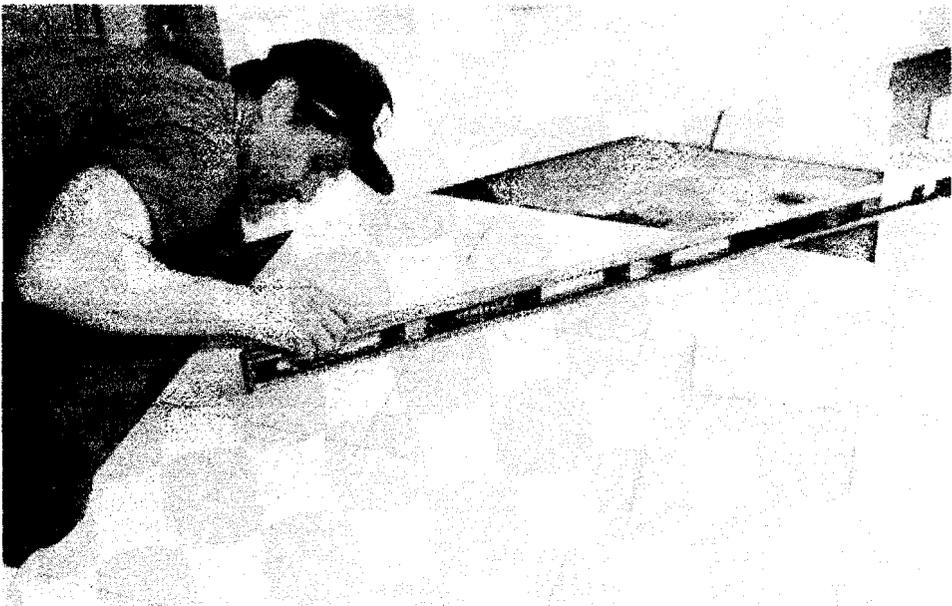
**Figura # 1.12 Extracción de la piedra en cantera**

## **1.2 Usos de la piedra ornamental en la construcción**

Las piedras ornamentales, como materiales naturales que son, presentan un gran atractivo, ya que a pesar de su aparente homogeneidad en su uso en la construcción, siempre encontramos

dentro de la misma cantera matices y formas diversas que pueden mostrarse en el acabado final de las piezas.

En comparación a otros materiales de construcción de procedencia Industrial, la piedra ofrece un especial atractivo al tratarse de algo natural, sin apenas transformación, más que la mínima necesaria para su colocación en obra.



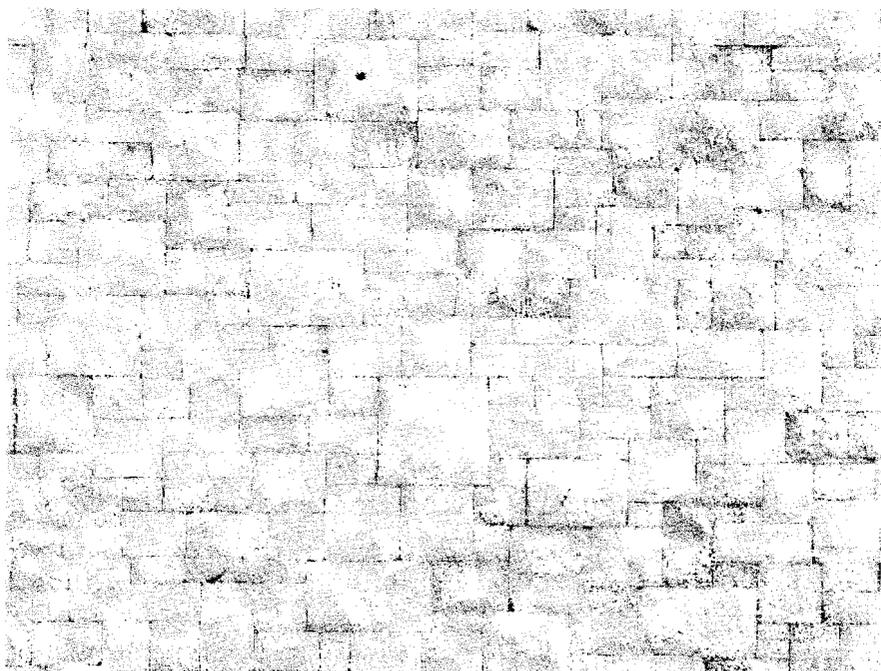
**Figura 1.13 Instalación de baldosas de mármol**

Los principales usos de la piedra natural son:

- Plaquetas para recubrimiento de pisos interiores y exteriores (45%)
- Escaleras y mesones (8%)
- Piedras dimensionadas para monumentos (10%)

- Losas para revestimientos de paredes interiores y exteriores (22%)
- Arte funerario (15%)

En los últimos tiempos, el uso de la piedra natural en fachadas de edificios de todo el mundo ha aumentado de manera considerable, ya que sirve para proteger las paredes de agentes atmosféricos, tienen un bajo coste de mantenimiento y mejoran el aislamiento acústico. También hay que considerar que la durabilidad de la piedra es superior a la de otros materiales.



**Figura 1.14 Uso de la piedra como fachada**

Los pavimentos realizados en piedra, tanto interiores como exteriores, además de cumplir una función estética, poseen alta durabilidad y

resistencia, por esto, la arquitectura moderna apuesta por este material.

### **1.3 Análisis geográfico de la planta**

La ubicación idónea de la nave en donde se va a procesar la piedra debería de ser en las cercanías de las canteras, ya que el coste del transporte se reduce considerablemente.

También un factor muy importante a considerar es el abastecimiento de la energía eléctrica y del agua, y que el suministro de los mismos sea continuo. No se puede prescindir del agua ni un instante, ya que este es el sistema de enfriamiento de las herramientas de corte, desbastado y pulido utilizadas en todas las etapas del proceso productivo.

### **1.4 La materia prima**

La materia prima utilizada en este proceso es la piedra caliza, la misma que es extraída de las canteras en tamaños máximos e irregulares de aproximadamente 2 x 2 x 0.8 metros.



**Figura 1.15 Se observa la piedra caliza en bloques**

La caliza es una roca sedimentaria muy importante, tiene numerosos usos especialmente en la industria de la construcción. Esta roca, por lo general, es dura, compacta, pero con frecuencia causa problemas a los ingenieros civiles por las siguientes características:

La caliza está compuesta principalmente por  $\text{CaCO}_3$  (Carbonato de calcio), y una cantidad menor de otros minerales como: arcilla, cuarzo,

dolomita, sulfuros u óxidos de hierro, carbón, asfalto y, con mucha frecuencia, conchas de animales como: caracoles, almejas, etc... .

Muchos restos de organismos son tan pequeños que para observarlos se requieren potentes microscopios. El precipitado de  $\text{CaCO}_3$  se acumula en el fondo de mares o lagos de aguas cálidas, simultáneamente con el material detrítico como: arcilla, limo o arena, producto de la intemperización de las rocas en regiones cercanas.

Capas de pizarra arcillosa se encuentran con frecuencia entre estratos de calizas, entonces la pizarra arcillosa regresa a su estado original de lodo y lubrica la base de cualquier bloque de caliza que se encuentre en la pendiente del corte de la roca o de un acantilado. Esta es la causa que por lo común ocasionan los deslizamientos o desprendimientos de rocas en terrenos de calizas.

La mayoría de las calizas contienen arcillas insolubles que se quedan en las fracturas y en los huecos formados en la superficie de la capa de caliza parcialmente disuelta, ésta se convierte en lodo resbaloso facilitando el deslizamiento de los bloques, especialmente durante las estaciones lluviosas del año. Las capas de caliza son masas duras y rígidas, por lo tanto, cuando la roca ha sido deformada por la presión de la corteza terrestre, se rompe y se puede ver atravesada por muchas fracturas, las cuales, con frecuencia, son perpendiculares a

los estratos. Este modelo de discontinuidad es muy característico de las calizas y por ello el ángulo recto es el símbolo que se usa para representar capas en los esquemas de deformaciones rocosas.



## CAPITULO 2

### 2. PROCESO DE PRODUCCIÓN ACTUAL

El proceso de producción actual se lo realiza en la mayoría de las fabricas de manera manual y artesanal. En las figuras siguientes se observan los diferentes puntos en los que se podrían hacer mejoras sustanciales para aumentar la productividad y calidad del producto. Además una de las ventajas de los automatismos es que disminuye el esfuerzo físico frecuente y repetitivo de los operarios.

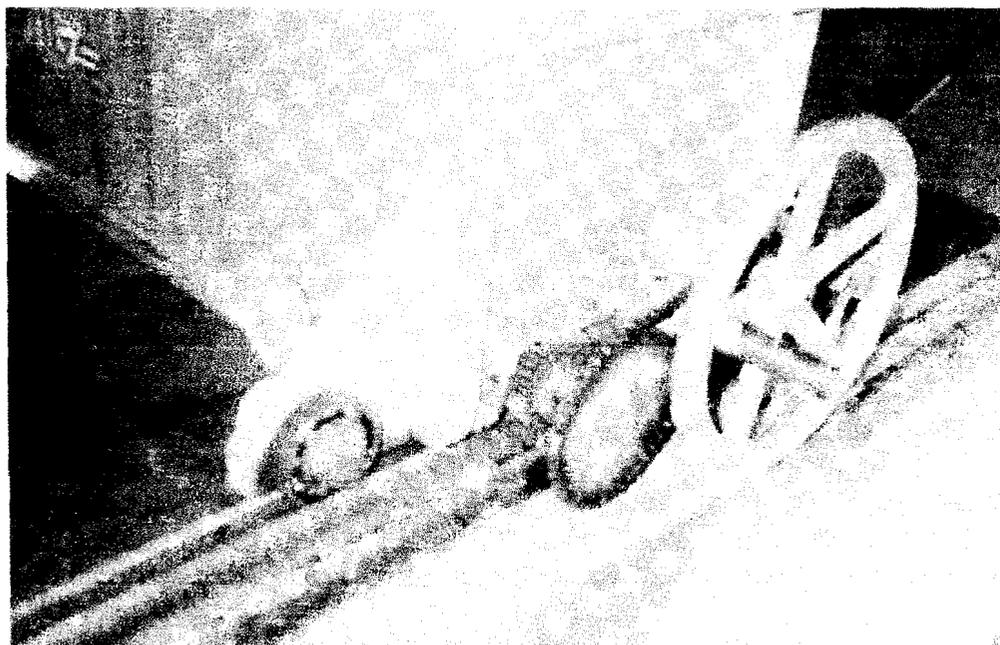
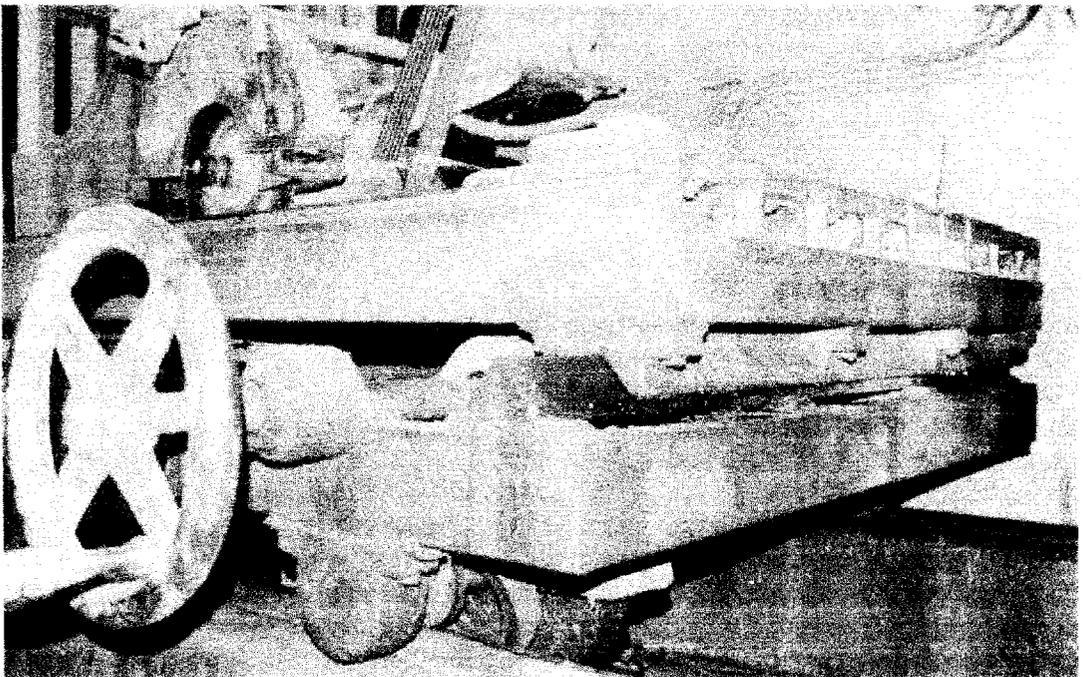


Figura 2.1 Movimiento manual de puente para cortadora de bloque

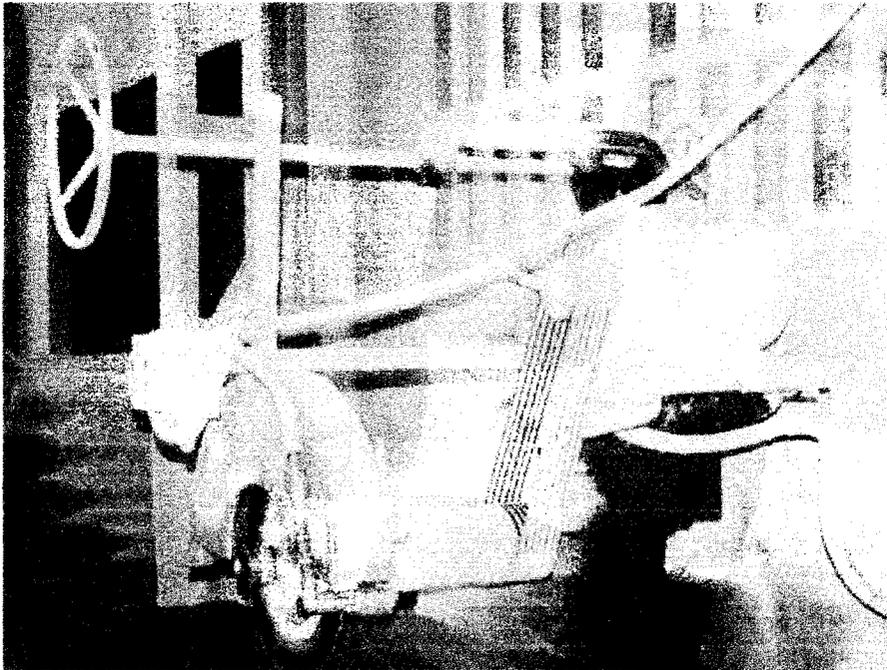
Este movimiento (Fig. 2.1) al ser manual crea un importante error en la medida de los bloques y de las tajadas. Las tajadas deben de salir lo mas uniformes posibles, para disminuir el gasto de abrasivo en la calibración. Esto se lo soluciona con la instalación de un motoreductor y un variador de velocidad.



**Figura 2.2 Movimiento manual del desplazamiento longitudinal o de corte (desplazamiento del carro)**

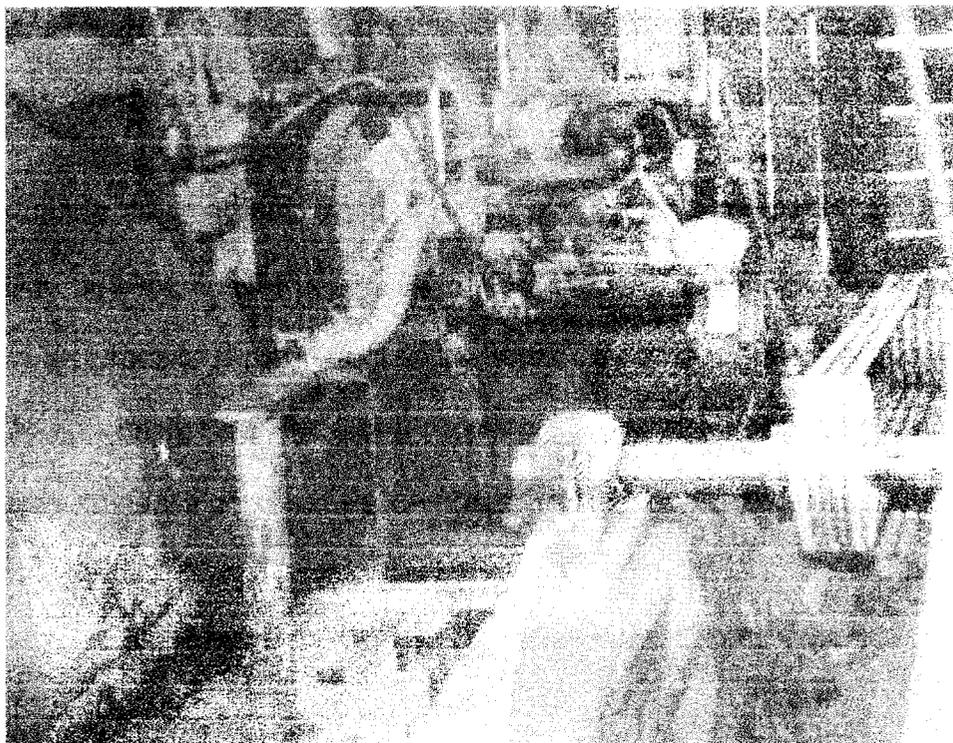
Este movimiento (Fig. 2.2) es importante que sea motorizado, debido que el corte debe realizarse lo más uniforme posible, esto influye mucho en el consumo del cabezal de corte ya que si se lo hace manual tiene muchos altos y bajos de consumo eléctrico dependiendo del pulso del operario, y debido a estas fluctuaciones aparecen relieves ocasionados por el disco

en el área de trabajo, lo que dificultaría su calibrado, e incrementaría su costo. Otra ventaja que tiene el motorizar el proceso es que el operario puede realizar otros trabajos mientras está trabajando la máquina, tales como preparación de otro bloque o limpieza de su puesto de trabajo.



**Figura 2.3 Movimiento manual del desplazamiento vertical del cabezal de corte**

Este movimiento (Fig. 2.3) no suele perjudicar en el proceso de corte, ya que es fijo mientras de está trabajando, la única desventaja es el consumo de tiempo al subir o bajar el cabezal cuando se lo requiera.



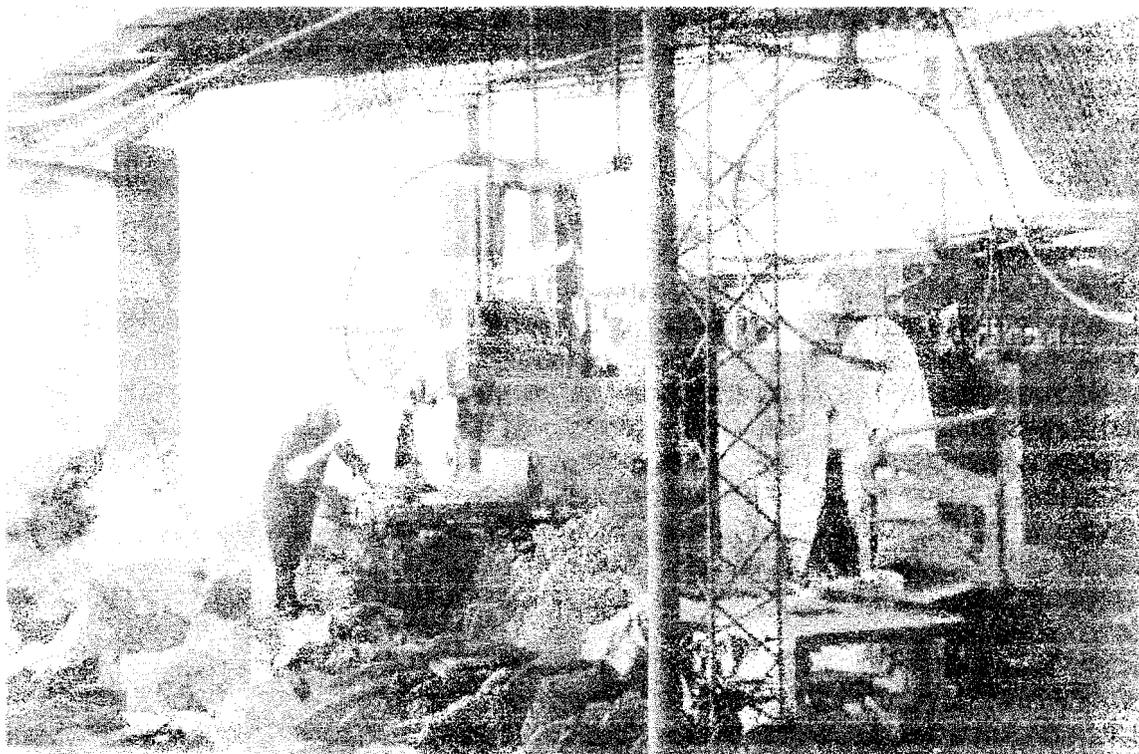
**Figura 2.4 Instalación con motor Diesel**

En la instalación mostrada (figura 2.4) podemos apreciar que el cabezal de corte es fijo y está accionado por un motor diesel a través de un sistema de polea-banda al cabezal de corte”

Este tipo de instalaciones suele encontrarse en muchas fabricas artesanales de la sierra y el oriente de nuestro país, las mismas que a parte de contaminar el medio ambiente por el ruido y la generación de humos de escape, genera mucha vibración y tiene un alto consumo de combustible. Este tipo de instalaciones puede cambiarse por un motor eléctrico de 60HP. Una ventaja de esto es la facilidad de adaptar la

máquina debido al tamaño reducido del motor eléctrico con respecto al motor diesel, además de su consumo.

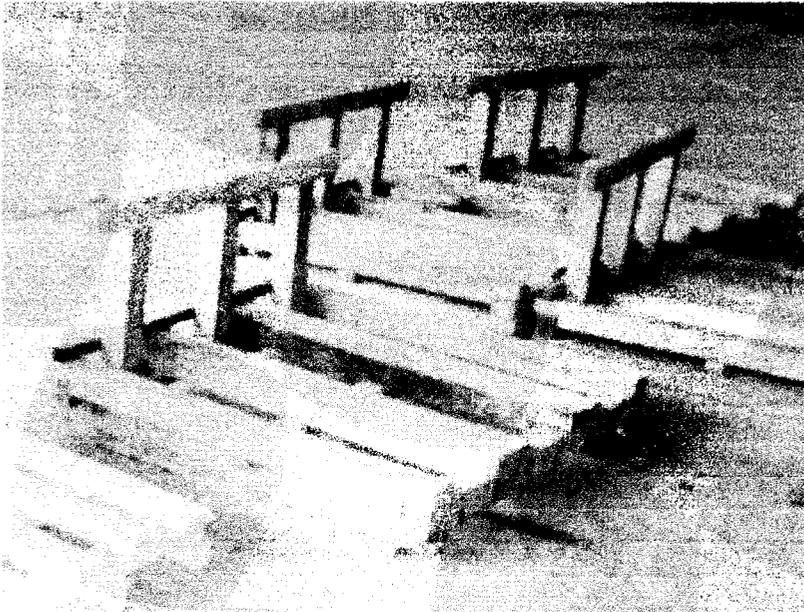
El pulido del material, generalmente se lo realiza mediante pulidoras de brazo con movimientos circulares y cíclicos por parte del operario. Este tipo de proceso toma una gran cantidad de tiempo, debido a que en ésta máquina se realiza el calibrado y el pulido, lo que implica un cambio de forma manual y continua de los abrasivos en el cabezal rotativo.



**Figura 2.5 Desorden generado por desperdicios**

En la figura 2.5 podemos apreciar la cantidad de desperdicio que se ha generado durante el proceso de productivo derivado del mal aprovechamiento de la piedra.

Este desperdicio es un denominador común de todas las empresas que se dedican a trabajar este proceso, esto tiene una fácil solución y es la de colocar paletas de madera junto a cada máquina para ir colocando las desperdicio (trozos de plaquetas irregulares) de manea horizontal, una sobre otra. No es recomendable la colocación en contenedores, ya que ocupan mas espacio y no se puede cuantificar. La ventaja de colocarlas en paletas de forma horizontal es la de facilitar el contaje aproximado de metros cuadrados que se han generado en desperdicio y de esta manera valorar la calidad de la piedra. Una recomendación es la de utilizar paletas de 1metro por 1 metro para así contar los pisos y determinar el número de metros cuadrados que hay en cada paleta. Para el caso de las plaquetas se utilizan las mismas paletas pero con espaldar para apoyar las mismas. A todos estos ejemplos anteriores lo que se quiere llegar es a automatizar cada movimiento, esto es motorizar los movimientos y poner variadores de velocidad en los que se requieran, para de esta manera conseguir un mejor rendimiento y homogeneidad en el proceso de corte.



**Figura 2.6 Paletas para la colocación de plaquetas**

#### **Distribución física del proceso**

En la distribución física de las máquinas en las empresas actuales se considera muy poco el espacio del material en proceso y el movimiento del mismo. En el capítulo 4 se hace un diseño de la ubicación idónea para que el proceso sea ágil y organizado.

Lo normal en las fabricas actuales es ver el material en proceso a la entrada y salida de las máquinas, el mismos que está ubicado sobre el suelo y apoyados en una parte de la estructura del equipo, lo que dificulta el trabajo del operario y estropea con el tiempo la máquina (Ver figura 2.5). También entorpece el mantenimiento y cambio de piezas. Luego de procesar el material, es transportado a mano a la siguiente máquina.

Esto genera pérdida de tiempo y aumento de piezas defectuosas que sufren golpes y roturas a causa del transporte inadecuado.

También es normal encontrarse con máquinas que deberían tener una secuencia física con otra y que están ubicadas en otro sitio del proceso. De esta manera es imposible llevar un control de material en proceso y la planificación de la producción.

### **Implementos de trabajo**

Es importante la salud física del operario, ya que de él depende la calidad del trabajo, es por esto que hay que dotar al mismo de instrumental para que no fuerce su cuerpo y se mantenga en buen estado físico y mental. Normalmente para mover las piedras (1 a 3 toneladas) en la etapa de bloqueo, los operarios están provistos de palancas con la que todo el día están manipulando la piedra, esto es correcto para ubicar la misma de forma paralela al disco (para mover medidas pequeñas), pero es inhumano para moverla de un lugar a otro, es por esto que es más sano y práctico la colocación de puentes grúas, brazos giratorias o montacargas, siendo el último el mas práctico.

## **2.1 Capacidad de las fabricas**

La capacidad actual de las fabricas es bastante reducida, debido a la falta de automatismos mencionados anteriormente, y la mala racionalización de los materiales.

Actualmente la producción promedio de una fabrica normal es de 100 - 150 m<sup>2</sup> en un turno de 8 horas. Hay que considerar que al trabajar con este tipo de piedra debido a su irregularidad se tienen rendimientos de aprovechamiento de material para baldosas regulares aptas para ser pulidas de alrededor de un 30%, lo que conlleva a intentar mejorar solo la parte de automatismos y de optimización de movimientos, sin descuidar la selección de la piedra en el sitio de las canteras, para de esta forma minimizar la cantidad de desperdicios durante el corte. En el capítulo 3 se dedica una sección a la optimización la piedra, en donde se muestra con la figura 3.4 la forma como se debe proceder a cortar la piedra para aprovecharla en su mayoría.

## **2.2 Calidad del producto y proceso productivo**

La mayoría de las empresas obtienen como producto final las plaquetas sin pulir, las mismas que son pulidas en obra, lo que con nuevas tecnologías se pueden obtener plaquetas ya pulidas y de

ésta manera realizar instalaciones mas limpias y sin necesidad de colocar resina en las juntas. También con máquinas más precisas es posible obtener plaquetas con una escuadra perfecta, y de esta forma no tener problemas en su instalación.

Un factor importante es el control del movimiento del producto en proceso y de los operarios, ya que es necesario minimizar el movimiento del producto en proceso para así disminuir la posibilidad de fisuras y roturas durante su manipulación.

### **Productos y subproductos obtenidos en el proceso**

Los principales productos que se pueden obtener son:

- a) Baldosas regulares de 15x30, 20x40, 30x30, 30x60 y 40x40 cm.
- b) Retazos o piezas que no den la medida para la obtención de una baldosa regular.
- c) Piedra de enchape, que resulta del primero y del último corte de la piedra para ser utilizada en las fachadas de las paredes exteriores.
- d) Polvo proveniente del material reciclado del agua.

Las baldosas de mármol se venden por metro cuadrado, de los cuales corresponden las siguientes cantidades:

- Para plaquetas de 15x30 corresponden 22.22 unidades
- Para plaquetas de 20x40 corresponden 12.50 unidades
- Para plaquetas de 30x30 corresponden 11.11 unidades.
- Para plaquetas de 30x60 corresponden 5.55 unidades
- Para plaquetas de 40x40 corresponden 6.25 unidades.

Las piedras de enchape se comercializan por metros cuadrados y para facilitar el contaje se los colocan en paletas de un metro por un metro y se hacen varios pisos para aprovechar el espacio vertical y facilitar su movilización con montacargas o carretillas con horquillas. Para los retazos también es recomendable colocarlos en paletas de igual disposición que los enchapes, y calcular cuantos quintales corresponden por metro cuadrado, ya que el quintal (1 quintal = 100 libras) es la unidad con la que se comercializan.

### **Sistema utilizado para la depuración del agua**

Actualmente en la mayoría de las empresas se utiliza un sistema muy básico para el reciclado del agua, el mismo que no es el idóneo para el correcto enfriamiento del disco ni para la salud del trabajador, ya que el agua circula en sistema muy cargada de polvo. Además también repercute en la velocidad de corte.

El sistema consiste en recibir el agua cargada en un depósito o piscina, la misma que cuenta con 3 o 4 divisiones para sedimentación en las que se va precipitando de forma natural el polvo para que en la última de ellas el agua sale algo clara. La manera de saber cuando limpiar el depósito es constatando que la última división esté saturada, para proceder a extraer el fango de forma manual, paralizando la producción.

Por medio de este sistema es muy claro que todo el proceso está prácticamente contaminado. Esto además de perjudicar en los puntos antes mencionado es muy dañino para las máquinas ya que este polvo acuoso penetra en los cuadros eléctricos y en la estructura de la misma disminuyendo de manera vertiginosa su vida útil, ya que es muy corrosivo.

## **CAPITULO 3**

### **3. MEJORA DEL PROCESO**

Para una mejora sustancial del proceso lo que hay que tener en cuenta a parte de la distribución óptima y selección de las máquinas es el correcto funcionamiento de las mismas por parte del operario, realizando los diferentes controles en el proceso. La mala utilización del equipo al igual que su mala selección crea malas condiciones de corte, produciéndose imperfecciones en el proceso de aserrado y disminuciones de productividad respectivamente.

Otro punto importante es el "factor humano", el aumento de la producción es ante todo consecuencia del amor al progreso, del deseo de mejora y de hacer hoy y mejor lo que se hizo ayer, y de la voluntad de animar al personal. En definitiva el aumento de la producción es el resultado del esfuerzo colectivo constante del personal para mejorar sus condiciones de vida económica y social.

#### **3.1 Consideraciones a tomar en cuenta para una mejora de la productividad en el corte de la piedra**

### Selección de la velocidad periférica (Vp)

La velocidad periférica dada en metros por segundo debe ser seleccionada según la dureza y la abrasividad del material; junto con la velocidad de avance, condiciona la velocidad de corte (Vc) y la duración total de la herramienta. Es por esto importante adaptar correctamente la velocidad periférica al material que hay que aserrar. Esto se lo muestra en la tabla 1.

**Tabla 1**  
**Velocidades periféricas aconsejadas.**

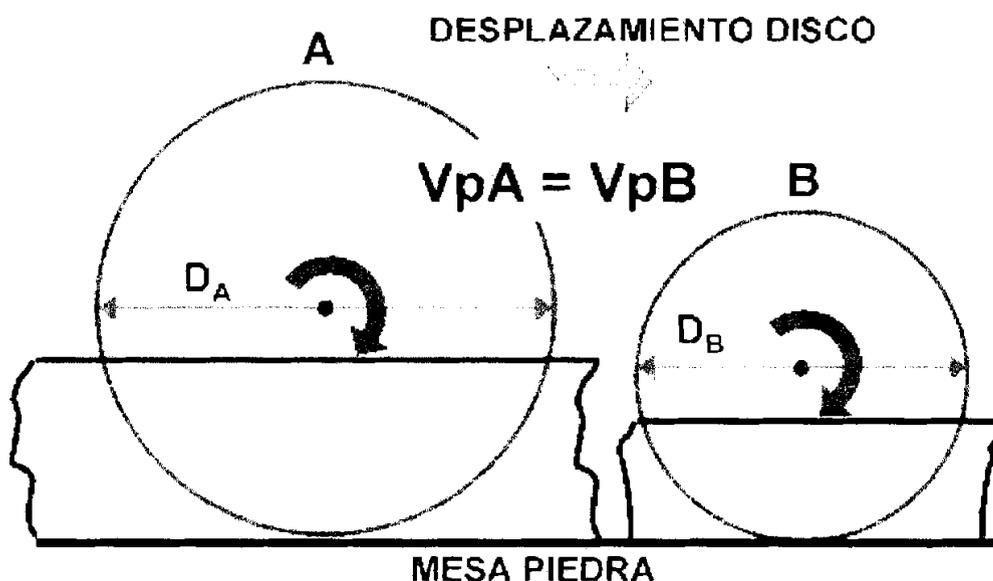
Materiales	Velocidad periférica normal (mt/seg)	Velocidad periférica alta (mt/seg)	
		Para 100-130 HP	Para 120-160 HP
Granitos duros	25 – 30	-	-
Granitos blandos	30 – 40	-	-
Mármoles	40 – 50	80	90
Travertinos	45 – 60	80	90
Gres	40 - 65	-	-

Para el caso de la piedra a trabajar se ubica en los valores correspondientes al mármol (ver tabla 1). Con estos datos se puede verificar si las revoluciones por minuto son las adecuadas para trabajar la piedra. Esto hay que tenerlo en cuenta cuando se trabaja una

máquina con diferentes diámetros de discos. Cuando se cambie un disco por otro de diferente diámetro es necesario cambiar las poleas de transmisión para obtener la velocidad periférica expuesta en la tabla 1.

Como ejemplo para explicar esto se muestra en la figura 3.1 un esquema con dos discos, uno con diámetro A y otro con diámetro B, donde A es mayor que B. Cabe destacar que las revoluciones por minuto de A debe de ser menor que las del disco B, para que de esta manera se mantenga constante la velocidad periférica de cada disco especificada según el tipo de piedra a cortar. Este cambio de discos es recomendable hacerlo cuando se trabaja con bloques de diferentes alturas, los mismos que deben ser seleccionados y organizados de tal manera que se pueda planificar su corte.





**Figura 3.1 Corte con diferentes diámetros**

Por medio de la ecuación siguiente se calcula la velocidad periférica ( $V_p$ ) o las revoluciones por minuto ( $n$ ) aconsejadas para el tipo de piedra que se vaya a trabajar

$$V_p \text{ (mt/min)} = \pi \times \varnothing \times n / 60000$$

### **Control frecuente de velocidad de corte del disco**

Este control es uno de los más importantes entre todos los controles estadísticos del rendimiento del proceso. Es importante regular la velocidad de avance respetando la velocidad de corte aconsejada por el fabricante de la herramienta, indicada en  $\text{cm}^2/\text{min}$ . Este control

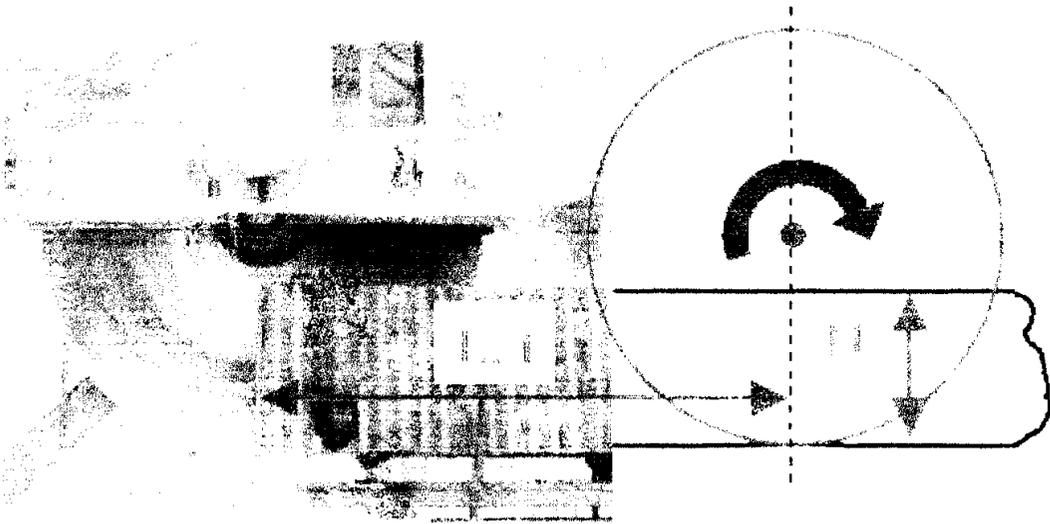
permite comprobar cuanto ha disminuido la capacidad de corte del disco. La capacidad de corte de la herramienta diamantada puede ser mermada cuando la misma se encuentra durante el corte con una parte de sílice incrustada en la piedra, esto hace que el segmento del disco pierda abrasividad con el desprendimiento de los granos de diamante y quedando solo el material aglutinante.

Esto es de fácil solución. Lo que se recomienda es hacer bloques de cemento con una proporción de 30% de cemento y 70% de arena y realizar pequeños cortes con poca cantidad de agua y a una baja velocidad para de esta forma avivar el segmento y hacer que aflore el diamante.

La forma de controlar el rendimiento del disco es el siguiente:

**Tabla 2**  
**Formato para el cálculo de la velocidad de corte**

FECHA	L (cm)	H (cm)	A (cm <sup>2</sup> ) [LxH]	t (min)	V <sub>c</sub> (cm <sup>2</sup> /min) [A / t]



**Figura 3.2 Parámetros para el cálculo de la velocidad de corte**

Es recomendable hacer este control varias veces al día, el cual consiste en tomar un tramo del bloque a cortar y la altura del mismo, y de esta forma se obtiene el área a trabajar, luego se toma el tiempo transcurrido en cortar esta área y se obtiene la velocidad de corte o también llamada capacidad de corte.

$$L \text{ (cm)} \times H \text{ (cm)} / t \text{ (min)} = A \text{ (cm}^2\text{)} / t \text{ (min)} = Vc \text{ (cm}^2\text{/min)}$$

Esto quiere decir que la velocidad de corte es igual a la profundidad de corte por la velocidad de avance de la mesa o del disco.

Cabe destacar que el tramo del largo del bloque que hay que escoger es un tramo intermedio de la piedra y no al inicio ni al final (puede ser un tramo de 50 o 100 cm dependiendo el largo de la piedra), de esta

forma se asegura que el disco esté introducido la medida de un radio dentro de la piedra en el sentido de corte (figura 3.2) y el motor eléctrico del cabezal este consumiendo realmente al límite máximo recomendado por el fabricante.

**Tabla 3**  
**Velocidades de corte aconsejadas**

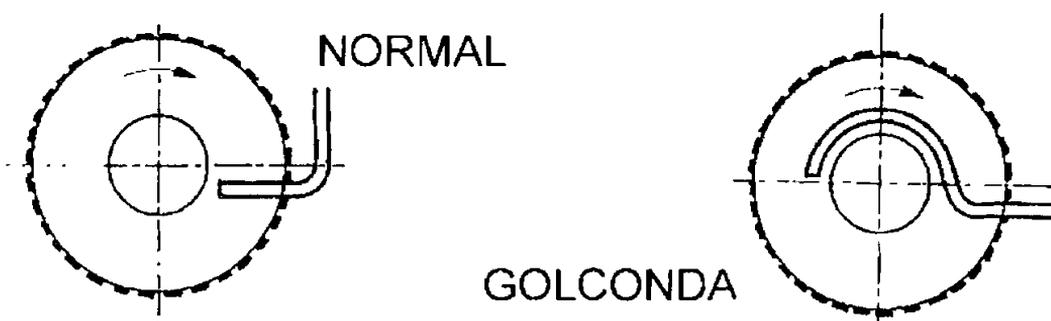
Materiales	Velocidad de corte (cm <sup>2</sup> /min)		
	Para velocidad periférica normal		Para velocidad Periférica alta (80–90 mt/seg)
	Baja potencia Buen acabado	Alta potencia Acabado inferior	
Granitos duros	100 – 150	200 – 300	-
Granitos blandos	300 - 400	400 – 600	-
<b>Mármoles</b>			
Ø 200 – 700	600 – 750	1000 – 1500	4000 – 6000
Ø 700 – 1300	800 – 900	1500 – 2500	
Ø 1300 – 3000	1000 - 1200	1500 - 2500	
Travertinos	1000	2000 – 3000	5000 – 6000
Gres	300 - 1000	600 - 2000	-

### **Control del caudal de agua de refrigeración**

Este control es recomendable para asegurarse de que la herramienta de corte esté recibiendo el caudal de agua recomendado por el fabricante, ya que si recibe poca cantidad de agua puede calentarse el alma de acero del disco y de esta forma estropearse produciéndose pérdidas muy elevadas en la capacidad de corte.

**Tabla 4**  
**Caudal de agua aconsejado por fabricantes de discos**

Diámetro (mm.)	Caudal	
	Máx. (Lt/min.)	Mín. (Lt/min.)
200 – 250	6	10
300 – 400	10	15
450 – 550	15	22
600 – 625	20	30
700 – 750	30	40
800 – 900	30	45
1000 – 1000	40	60
1200 – 1300	50	75
1400 – 1600	60	90
2000	70	120
2500 – 2700	80	140
3000	90	160



**Figura 3.3 Sistemas de refrigeración**

Los esquemas mostrados en la figura 3.3 representan dos tipos diferentes de sistemas de refrigeración, con factores de distribución notablemente diferentes. El modelo de la izquierda (llamado Normal o convencional) de empleo universal, es el sistema al cual se aplican los valores de la tabla 4. El modelo de la derecha (llamado Golconda), que asegura una distribución mejor de agua, deberá preferirse cuando el caudal de agua disponible sea escaso. Los valores de la tabla 4 también pueden aplicarse a este tipo, adoptando un factor de reducción de 0.9 a 0.7.

Los valores mínimos y máximos de caudal dependen del tipo de material que se corte, así como de la velocidad de avance, y son valederos con tal que la distribución del agua asegure una refrigeración eficaz de la zona de contacto entre la herramienta y el material. Exceptuando determinadas aplicaciones especiales, el aserrado con diamante se lleva a cabo bajo riego abundante. La presión del agua tiene poca importancia, siempre que el caudal sea suficiente.

### **Optimización de la piedra a cortar**

Una de las tareas más importantes corresponde a la selección de la piedra en la cantera, y debido a sus características tiene muchas

imperfecciones y protuberancias, lo que recomiendo realizar una limpieza antes de empezar a cortar.

Esta limpieza se basa en tratar de dejar la piedra irregular lo más regularmente posible a base de ir quitando los excesos y protuberancias con un martillo grande o combo, para que de esta forma aumente la duración del disco evitando cortes innecesarios y así también reducir el desperdicio durante el proceso. Debido al pequeño tamaño e irregularidad de la piedra a trabajar se ha diseñado un proceso sistematizado que se adapta a este tipo de piedra después de ser extraída en la cantera, con el que más adelante se podrá seleccionar la maquina adecuada para cada etapa. A continuación mediante la figura 3.4 se muestra esquemáticamente en que consiste el proceso de corte diseñado para este tipo de piedra.

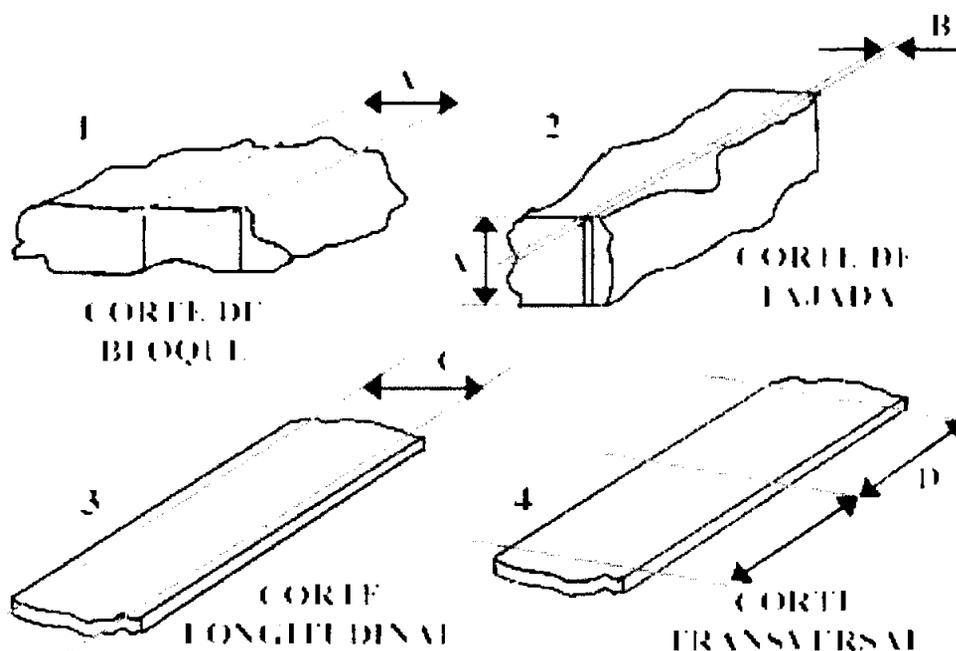


Figura 3.4 Esquema del proceso de corte

### **Selección de la potencia del cabezal de corte**

Al seleccionar la potencia de una cortadora, lo primero que hay que definir es la profundidad de corte del material, esto es la altura de la piedra para la bloqueadora, la altura del bloque para las tajadoras y el espesor de las placas en el caso de las cuadradoras. Lo segundo es la naturaleza del material que se va a trabajar, los cuales pueden ser granito, mármol, travertino o gres. En la tabla 5 se muestra la relación entre el diámetro del disco de corte y la potencia recomendada en función de la naturaleza del material a trabajar.

Los valores de potencia aconsejada son los que permiten lograr la producción máxima o velocidad de corte aconsejada expuesta en la tabla 5, esto es:

$$\text{Producción Máxima} = H \times L \times (1 / \text{min}) \text{ [ cm}^2/\text{min]}$$

**Tabla 5**  
**Potencia recomendada de cabezal de corte**

Diámetro (mm)	Potencia (HP)			
	A velocidad periférica normal		A velocidad periférica alta	
	25 – 65 mt/seg		80 mt/seg	90 mt/seg
	Baja potencia Buen acabado	Alta potencia Acabado inferior		
<b>GRANITOS</b>				
200 – 250	2	4	-	-
300 – 400	5	10	-	-
450 – 550	12	18	-	-
600 – 625	18	20	-	-
700 – 750	25	35	-	-
800 – 900	25	40	-	-
1000 – 1100	30	45	-	-
1200 – 1300	40	60	-	-
1400 – 1600	55	80	-	-
2000	60	90	-	-

2500	65	100	-	-
2700	75	125	-	-
3000	90	150	-	-
<b>MÁRMOLES – TRAVERTINOS – GRES</b>				
200 – 250	2	5	-	-
300 – 400	7	12	-	-
450 – 550	10	20	-	-
600 – 625	12	25	-	-
700 – 750	18	40	100	120
800 – 900	25	50	120	150
1000 – 1100	30	65	120	150
1200 – 1300	40	80	130	160
1400 – 1600	60	90	-	-
2000	65	100	-	-
2500	70	120	-	-
2700	80	150	-	-
3000	100	170	-	-



## **Normas para el empleo de los discos diamantados**

Los consejos y normas para el uso de los discos ayudarán con certeza a los usuarios de discos diamantados para así obtener su máximo rendimiento.

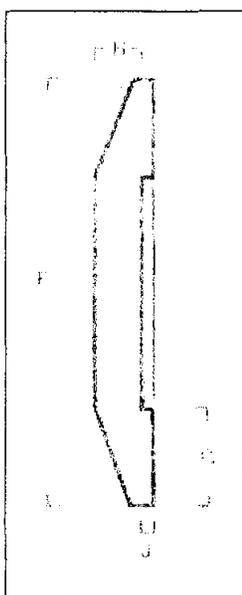
Para el almacenamiento y montajes de los discos, al recibirlo, si no se lo va a utilizar de inmediato, hay que depositarlo sobre una superficie plana o, preferentemente suspenderlo por su eje, nunca apoyarlo contra una pared.

Antes de proceder al montaje sobre el eje del cabezal, Verificar la limpieza del eje, del cuerpo metálico del disco y de los platos de sujeción del mismo. Nunca apoyar el disco sobre la rosca del eje.

Efectuar siempre el montaje del disco en el sentido de rotación indicado por la flecha grabada en la chapa del disco. En el caso de no estar grabado el sentido de giro, marcarlo antes de sacarlo para luego al ser colocado no invertir el sentido. En el caso de desmontaje frecuente, es importante marcar la posición del disco y de los platos laterales de sujeción en relación al eje.

Los platos de sujeción deben de tener la parte central rebajada, de modo tal que ofrezcan por todo apoyo un anillo exterior de 10 a 60 mm

de anchura, según el diámetro de la herramienta. Las dimensiones están dadas por la tabla 6.



**Figura 3.5 Medidas plato de sujeción**

**Tabla 6**  
**Dimensiones aconsejadas para platos de sujeción**

$\varnothing$ (mm)	F (mm)	G (mm)	H (mm)	J (mm)
200	80	10	12	1
250	100	10	12	1
300	120	10	12	1
350	140	12	15	1
400	150	12	15	1
450	160	12	18	1
500	170	15	18	1

550	170	15	18	1
600	180	15	18	1
700	200	20	20	1
800	225	20	20	1
900	250	25	20	1.5
1000-1100	250	25	20	1.5
1200	300	30	25	1.5
1300	325	30	25	1.5
1400	325	30	25	1.5
1500	350	30	30	1.5
1600	375	40	30	1.5
1750-1800	400	40	35	2
2000	425	50	35	2
2500-2700	450	50	35	2
3000	600	60	40	2

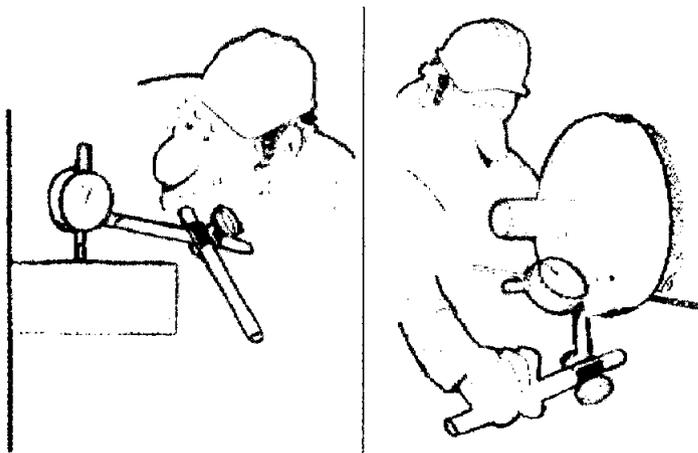
### **Normas para el control en el montaje de los discos**

Es necesario revisar con la ayuda de un comparador con base magnética

los siguientes puntos de control:

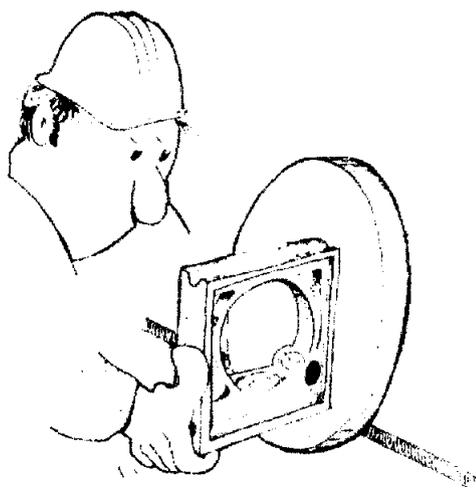
- a) La excentricidad del eje (columna A / tabla 7)

b) El alabeo de los platos de sujeción (columna B / tabla 7)



**Figura 3.6 Excentricidad de eje y alabeo de platos de sujeción**

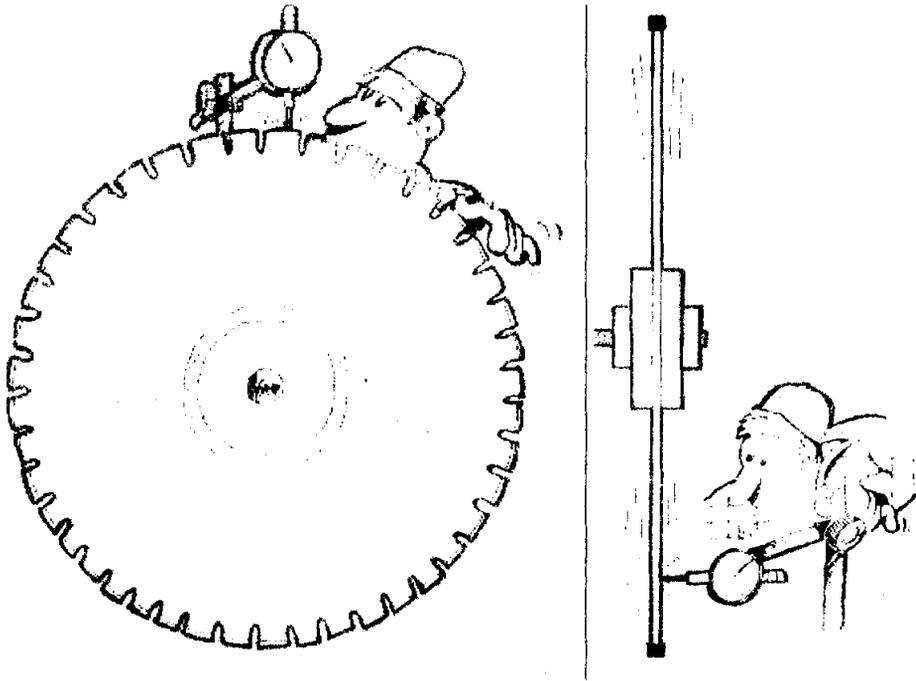
c) Perpendicularidad del eje (0.05 mm/mt)



**Figura 3.7 Perpendicularidad del eje**

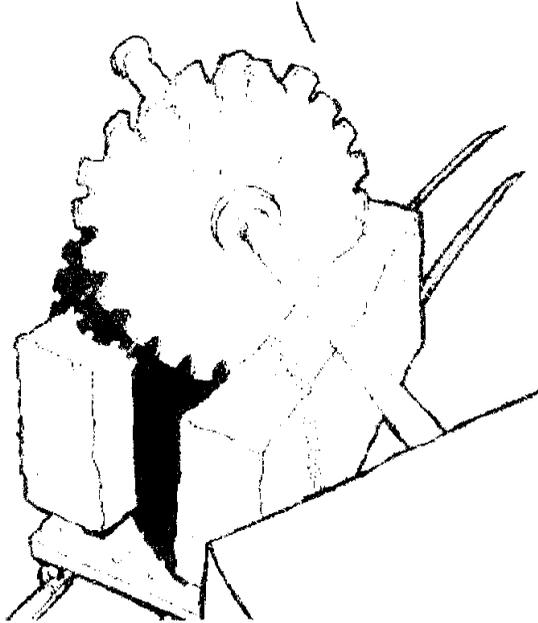
d) Golpe axial del disco (columna C / tabla 7)

e) Alabeo del disco (columna D / tabla 7)



**Figura 3.8 Salto axial y alabeo del disco**

f) Paralelismo de la mesa con respecto al disco (columna E / tabla 7)



**Figura 3.9 Paralelismo de la mesa vs. disco**

El desplazamiento de la mesa (o del disco) debe ser rigurosamente paralelo al plano del disco. Para controlar el paralelismo, se coloca el comparador sobre la mesa de la máquina, de manera que esté en contacto con el disco, cerca de un diente. Se marca el punto de contacto del comparador en el disco. Tras la lectura del comparador, se mueve la mesa (o el disco) de manera que el comparador sea llevado al otro lado, siguiendo una línea que pase bajo el disco de sujeción. Luego se hace girar el disco hasta que la marca se encuentre de nuevo tocando el comparador (esta rotación elimina cualquier diferencia debida al disco o a los discos de sujeción), la diferencia que se obtenga no puede sobrepasar las tolerancias que se indican en la columna E de la tabla 7. En el caso de haber una diferencia que sobrepase habrá que contactarse con el fabricante de la máquina o en su defecto

corregir ese defecto calibrando la mesa o el cabezal donde esta colocado el disco.

**Tabla 7**  
**Tabla de tolerancias para montaje de discos**

∅	A	B	C	D	E
mm.					
200	0.02	0.02	0.15	0.10	0.10
250	0.02	0.02	0.15	0.12	0.10
300	0.02	0.02	0.15	0.15	0.10
350	0.02	0.03	0.15	0.15	0.10
400	0.02	0.03	0.15	0.20	0.20
450	0.02	0.03	0.20	0.20	0.20
500	0.02	0.03	0.20	0.25	0.20
550	0.03	0.03	0.20	0.25	0.20
600	0.03	0.03	0.20	0.30	0.20
700	0.03	0.04	0.20	0.32	0.30
800	0.03	0.04	0.20	0.40	0.30
900	0.03	0.05	0.20	0.45	0.30
1000	0.03	0.05	0.20	0.50	0.30
1100	0.03	0.05	0.20	0.50	0.30
1200	0.03	0.06	0.20	0.60	0.30
1300	0.04	0.06	0.20	0.65	0.40
1400	0.04	0.06	0.25	0.70	0.40
1500	0.04	0.08	0.25	0.75	0.40
1600	0.04	0.08	0.25	0.80	0.40
1750	0.04	0.08	0.25	0.90	0.40
2000	0.04	0.08	0.25	1.00	0.40
2500	0.04	0.10	0.25	1.25	0.50
2700	0.04	0.10	0.25	1.25	0.50
3000	0.04	0.10	0.25	1.50	0.50

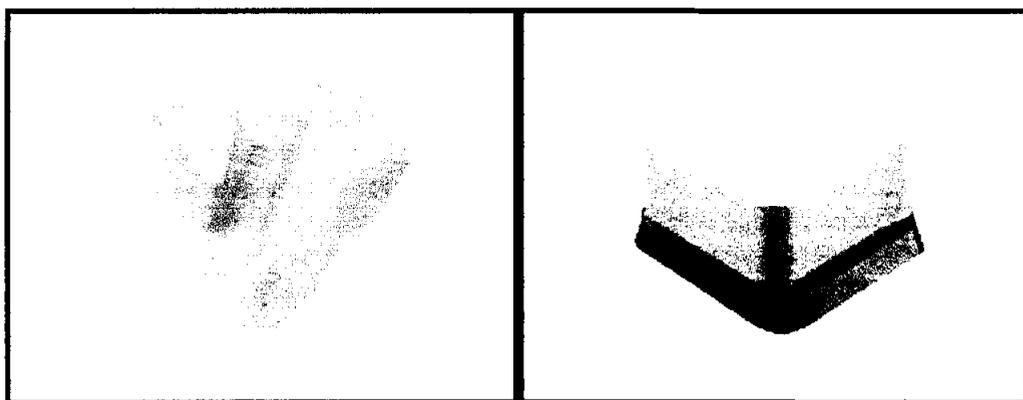
### **El uso del abrasivo para calibrar y pulir**

Los abrasivos son todos los materiales, productos químicos o naturales, cuya dureza es mayor que la del objeto a trabajar.

Puede tratarse de polvos, líquidos, productos mixtos (líquido-polvo), en algunos casos englobados dentro de materiales aglomerantes, resinas sintéticas, aleaciones o ligas metálicas y montados en soportes flexibles o rígidos, oscilantes o giratorios.

La funciones de un abrasivo son desbastar, alisar o pulir mármol, piedra, granito u otros materiales que precisen un acabado de sus superficies.

Las características principales de los abrasivos están definidas por la clasificación granulométrica y por la dureza correspondiente en la escala Mohs mencionada anteriormente. A finales del pasado siglo y comienzos del actual la industria de la fabricación de abrasivos sufrió un cambio sustancial con el descubrimiento del óxido de aluminio y el carburo de silicio.



**Figura 3.10 Abrasivo modelo utilizado para pulir y abrillantar**

Podemos definir los abrasivos como sustancias que, por su elevada dureza y su estructura cristalina, son capaces de producir un desgaste o corte, por acción mecánica, sobre materiales menos duros que ellos. Bajo esta denominación puede agruparse gran cantidad de materiales, no obstante en la práctica se emplea un número limitado de sustancias que por sus propiedades especiales se han generalizado para este trabajo. A efectos de su utilización, los abrasivos se distinguen por su dureza, su resistencia a la fractura y por la naturaleza de esta fractura. Los abrasivos que se emplean son de dos tipos: abrasivos naturales, que son los que se encuentran en la naturaleza y abrasivos artificiales que son los fabricados por reacción química. La industria de la piedra natural emplea actualmente abrasivos artificiales en su mayoría.

Para una calibradora–pulidora automática se detalla a continuación el orden recomendado de los segmentos abrasivos (ver figura 3.16) para una buena pulimentación de la piedra.

**Tabla 8**  
**Orden de granos abrasivos para calibrar y pulir**

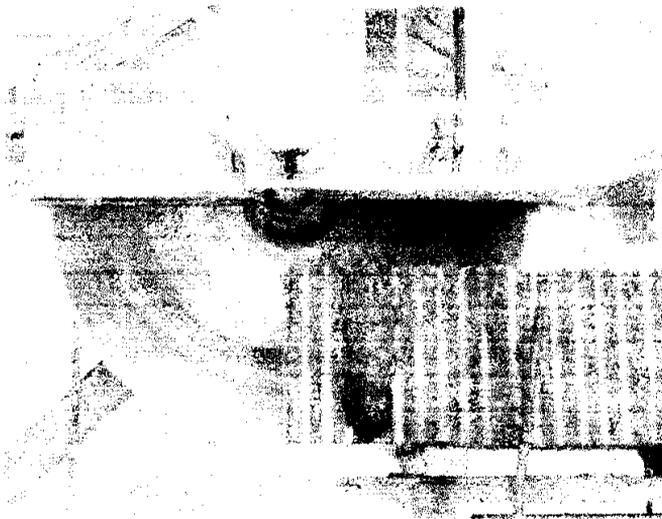
Calibrar	Cabezal	Diamante		Abrasivo	
		1	2	1	2
	Grano (mesh)	40/50	50/60	60	80

Pulir	Cabezal	Abrasivo									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Grano (mesh)	80	120	150	150	220	220	400	600	Brillo	Brillo

### 3.2 Influencia de los factores que intervienen en el sistema de corte con discos diamantados

Una de las características a considerar en el sistema de corte de rocas es la versatilidad de las maquinas, respecto a la posibilidad de variación de la potencia y la velocidad periférica del disco durante el corte.



**Figura 3.11 Cortadora de bloque**

Hay que tener en cuenta que el corte de un material requiere un consumo de energía por parte de la sierra, de modo que en materiales duros y velocidades o régimen de corte (superficie cortada por unidad de tiempo) elevadas, la potencia requerida puede llegar a ser superior a la suministrada. En estos casos, y si se quiere mantener el régimen de corte, se puede aumentar la velocidad periférica del disco, reduciendo de esta manera la potencia consumida.

Los problemas surgen cuando no existe la posibilidad de cambiar la velocidad de giro del disco, en cuyo caso, la única solución consiste en aumentar o disminuir el diámetro del disco diamantado.

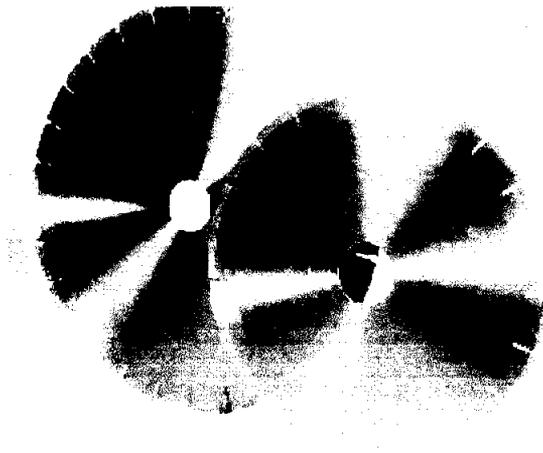
El consumo de energía de la máquina para una misma velocidad de corte también se puede reducir disminuyendo la profundidad de corte y

aumentando la velocidad longitudinal (Velocidad de desplazamiento del disco respecto a la piedra).

El refrigerante es otro factor que hay que tener en cuenta. La cantidad de este (Lt/min) está tabulado en función del diámetro del disco de corte, a mayor diámetro mayor caudal.

### **Discos de corte**

El disco de corte o útil diamantado está formado por dos constituyentes básicos. Un soporte (alma metálica o núcleo) donde va colocado el segmento diamantado en su periferia y el propio segmento que está formado por los granos de diamante y un agente ligante constituido por polvos metálicos que los aglutina y mantiene unidos. Estos segmentos son fijados al soporte por medio de soldadura especial o mediante láser y la herramienta diamantada queda así lista para su utilización.



**Figura 3.12 Discos de corte**

### **El núcleo**

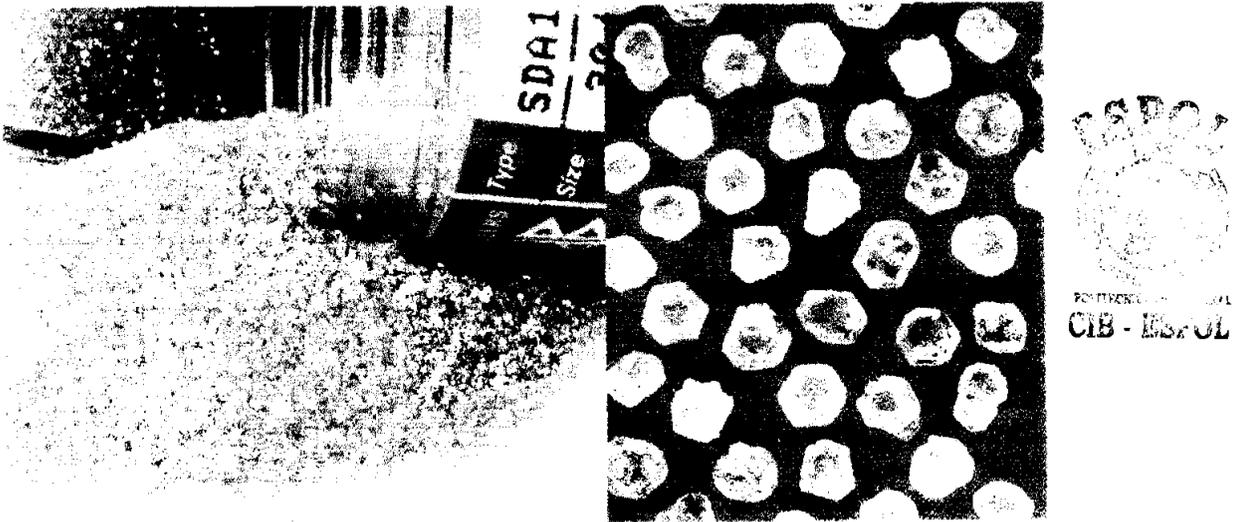
Es de acero y los principales requisitos que se le exigen son que no se desgaste fácilmente y que no alabe durante el corte. De esto no es necesario preocuparse debido a que el fabricante o proveedor se encarga de entregarlo con las respectivas características para que trabaje de forma correcta, siempre y cuando durante el trabajo no se realicen imprudencias por parte del operario, que hagan que el disco sufra esfuerzos debido a entradas de corte bruscas o recalentamiento por falta de refrigeración.

### **El diamante**

Entre las herramientas utilizadas para el trabajo de la piedra, el protagonista por excelencia es el diamante, que se utiliza como útil de

corte y pulido prácticamente en todas las fases, tanto de extracción como de transformación. Hay que considerar el tipo de diamante, ya que la naturaleza y forma de éste puede variar, afectando también a las características de corte. Por una parte están los diamantes sintéticos, los mismos que permiten un acondicionamiento de su forma y tamaño durante el proceso de producción a la vez que una calidad más uniforme, y, por otra parte están los diamantes naturales, con formas más irregulares, pero que poseen una mejor retención en la matriz, aristas de corte más agudas y mayor estabilidad térmica.

La granulometría del diamante, tanto natural como sintético, está clasificada según las normas DIN 848, US Standard ASTM E11 (mesh) y la europea Standard FEPA (Federación Europea de Fabricantes de Productos Abrasivos) que establece un nuevo reparto según la trama de las cribas. Las equivalencias de los tamaños de grano se representan tabulados en el apéndice B.



**Figura 3.13 Diamante para la elaboración de segmentos**

### **La matriz**

La Matriz que es la que engloba los diamantes tiene mucha importancia, ya que de esta depende el rendimiento del disco. Para conseguir esto es necesario que, aun siendo diferente la dureza del diamante y de la matriz, se desgasten ambos simultáneamente, de modo que los diamantes tengan una exposición constante y suficiente. Si la matriz es demasiado dura los diamantes no estarán suficientemente en relieve para cortar con eficacia, (por lo que sería conveniente afilar el disco), mientras que si la matriz es demasiado blanda, los diamantes se desprenden demasiado pronto.

Como material ligante se utilizan diferentes polvos metálicos, los mismos que el fabricante los tiene formulados para la fabricación de

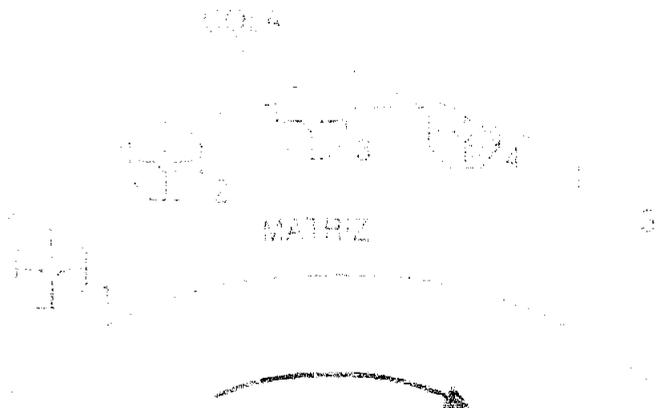
segmentos dependiendo de las características de la máquina, del material a trabajar y del acabado que se le quiere dar al material a trabajar.



**Figura 3.14 Matriz o ligante del segmento**

### **Proceso de desgaste del disco**

Durante el proceso de corte, el disco gira siempre en el mismo sentido produciéndose, al desgastarse la matriz ligante, el afloramiento de los cristales de diamante de los segmentos. Esto hace que se produzca una cola de matriz detrás de cada cristal de diamante que lo fija durante el corte, evitando que se despegue.



**Figura 3.15 Secuencia de la fractura del diamante durante el corte**

El despegue de los cristales de diamante (y por lo tanto, el desgaste de la matriz debido a la abrasividad de las rocas) es uno de los mecanismos de desgaste del disco, pero hay que destacar otros procesos de rotura y pulido del diamante que contribuye a reducir la vida útil del disco. Cuando se corta una roca con disco diamantado, se genera en el disco (y por tanto en los diamantes de los segmentos) unos esfuerzos compresivos y otros de cizalla que hacen que los cristales de diamante se rompan o pulan. Los esfuerzos compresivos dependen de algunos parámetros de corte, como la profundidad del corte, sentido de giro del disco respecto a la superficie cortada, etc., mientras que los de cizalla están más condicionados por la velocidad de avance del disco.



**Figura 3.16 Vista periférica de un segmento.**

Hay que destacar que para establecer la dirección de corte de un disco nuevo o de uno ya utilizado, se visualiza la estela que deja el diamante tal como la de un cometa en el firmamento, este sentido definido en el segmento establece la dirección de corte de la herramienta (ver figura 3.15).

### **3.3 Influencia de las características petrográficas en el corte de rocas ornamentales con discos diamantados**

Los mecanismos que actúan durante el corte de materiales rocosos han sido estudiados mediante ensayos consistentes en aplicar cargas compresivas con indentadores de formas diversas sobre la superficie de la roca.

El proceso de corte se produce por la trituración y deformación inelástica de la roca justo por debajo del indentador ( en el corte con disco, el indentador sería el cristal de diamante) seguido de la formación de un cráter debido al crecimiento de fisuras laterales desde la punta del indentador hasta la superficie.

Para unas mismas condiciones de corte, la diferente cortabilidad de los distintos materiales rocosos se debe a sus diferentes características petrográficas (mineralogía, textura y espacios vacíos).

### **Mineralogía**

La mineralogía ejerce una gran influencia sobre la cortabilidad y sobre el desgaste del disco. Tradicionalmente es conocido que la proporción de cuarzo es uno de los factores petrográficos que influye en la cortabilidad de los materiales rocosos. Sin embargo, algunos investigadores indican que este parámetro aislado no puede utilizarse como indicador de la cortabilidad.

El surco que el diamante deja en uno y otro mineral van a ser distintos para un mismo nivel de esfuerzo.

### **ESCALA DE DUREZA (MOHS)**

1. Talco

2. Yeso
3. Calcita (mayoría de los mármoles)
4. Fluorita
5. Apatita
6. Feldespato (Granito)
7. Cuarzo (Granito)
8. Topacio
9. Corindón
10. Diamante

No obstante, en uno y otro caso no sólo hay que considerar la presencia de cuarzo, sino también la de otros minerales a la hora de predecir su cortabilidad.

### **3.4 Análisis medioambiental**

Las fábricas utilizan como materia prima la piedra Caliza, proveniente del sector de vía a la costa de la ciudad de Guayaquil y del sector de Santo Domingo de los Colorados.

La planta industrial es necesaria que esté ubicada en una zona industrial y favorablemente cercano a las canteras. Es primordial contar con una buena dotación de agua y energía eléctrica. Para que las partículas de carbonato de calcio no causen daño a la salud de los

trabajadores es fundamental el uso obligatorio de mascarillas, guantes, botas y mandiles, además hay considerar que al ser el agua reciclada y depurada, el polvo en suspensión será mínimo.

Para saber la capacidad de agua de una planta de este tipo es necesario sumar el consumo de agua de cada máquina, dado por el fabricante o ser calculado por medio de la tabla 4 dependiendo el diámetro de la herramienta de corte. De esta manera obtendremos el total de  $\text{m}^3/\text{hora}$  de agua contenida de sólidos en suspensión.

Los sólidos son recuperados como fangos compactados y comprimidos en forma de tortas utilizando una planta depuradora de lodos. Estas tortas saldrán con un contenido de carbonato de calcio de alta pureza (aprox. 96-98% para el caso de la piedra caliza, ver apéndice A) y un 20% de humedad.



**Figura 3.17 Fango compactado en forma de tortas**

### **Identificación de posibles impactos ambientales:**

Para identificar posibles puntos de impacto ambiental de analiza lo siguiente:

- El proyecto de fabricación está ubicado en una zona destinada al desarrollo industrial.
- El proceso de producción es enteramente físico. Por lo tanto no se produce reacciones químicas que puedan resultar en procesos tóxicos o contaminantes.
- Tampoco se producen cambios de temperatura, pH, contenido de minerales o cualquier otra alteración de la constitución, o el uso de los terrenos del proyecto o de su entorno.
- Durante el proceso de producción se desprenden partículas finas que podrían ser aspiradas por los trabajadores. Esto es solucionado con el uso obligatorio de mascarillas. Además el desprendimiento de partículas es mínimo, ya que todo el polvo desprendido del corte es recogido por el agua de enfriamiento y separado de la misma por medio de una planta depuradora, lo que garantiza que el agua reprocessada esté libre de partículas de polvo.

Manteniendo todos los puntos anteriormente se concluye que no hay posible impacto ambiental y utilizando una planta depuradora de agua beneficiaría al empresario debido a que se recuperará el material en forma de polvo que arrastra el agua durante el corte y además favorece el enfriamiento del disco ya que el agua que circula se mantiene poco contaminada.

### **3.5 Sistema de recuperación de polvo y reciclado del agua**

Para la preparación de las rocas ornamentales es imprescindible la utilización del agua. Cada vez son más los fabricantes de maquinaria para la transformación de piedra, que en sus nuevos modelos aumentan el rendimiento de sus máquinas. Las pulidoras producen más metros cuadrados por hora y los cortabloques cortan más de prisa. Es por esto necesario la utilización de plantas depuradoras de agua para garantizar la calidad de la misma.

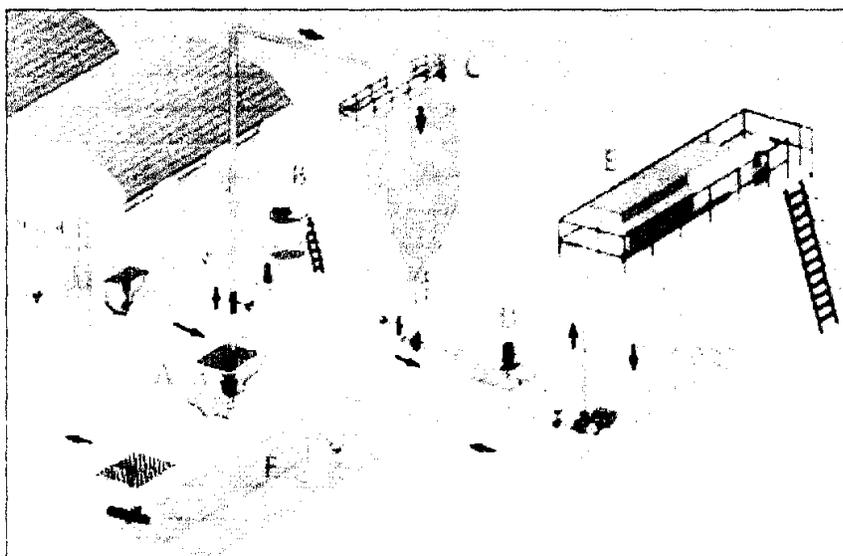
#### **Proceso**

El agua cargada procedente de las máquinas de corte de piedra se recoge en depósito de captación y mediante una bomba sumergida se impulsa al decantador.

El floculante preparado en un depósito adecuado se inyecta en la tubería de impulsión del agua cargada, antes de la entrada a la

cámara de floculación situada en el centro del clarificador. La entrada del agua y el floculante a la cámara de floculación se realiza tangencialmente, favoreciendo la mezcla íntima de ambos líquidos y produciéndose la precipitación del lodo al fondo del decantador, donde se concentra por precipitación. Cuando el lodo alcanza la concentración predeterminada, controlada por un detector de la densidad del lodo, se activa la bomba de lodo, impulsándolo al filtro prensa.

El lodo deshidratado cae en forma de tortas por una rampa y el agua se recoge en una caja colectora desde la cual es enviada por gravedad al depósito de agua clarificada para su reutilización.



**Figura 3.18 Planta depuradora de agua**

A: Depósito de agua contaminada por el proceso

B: Deposito de floculante

C: Decantador

D: Bomba

E: Filtro prensa

F: Agua clarificada

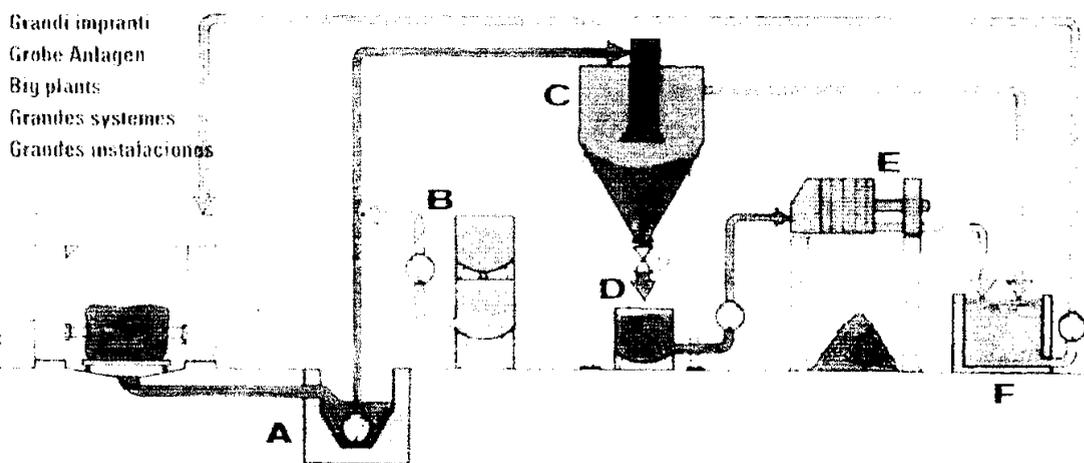


Figura 3.19 Esquema de proceso de recuperación de lodo

### - Componentes

**Bomba de agua cargada:** es una bomba centrífuga sumergida que impulsa el agua cargada del depósito de captación al decantador.

**Equipo de puesta en solución, mantenimiento y dosificación del floculante:** consta de un depósito donde se añade el polielectrolito líquido y se homogeniza mediante un agitador. El agitador está

accionado por un motorreductor que funciona durante el ciclo de preparación y dosificación. La dosificación la realiza una bomba volumétrica que funciona simultáneamente al envío de agua al clarificador. El arranque y parada de la bomba de solución del floculante se realiza de manera simultánea al arranque y parada de la central de bombeo.

***Decantador:*** es un conjunto compacto que incorpora el soporte y el propio filtro prensa. Funciona por gravedad y es de forma cilíndrica en la parte superior y cónica en la inferior para facilitar la evacuación de los lodos. El sistema empleado es el de separación físico-química. El agua a tratar llega por la parte superior donde previamente es mezclada con el floculante y mediante precipitación se logra la reacción deseada. El agua en descenso se libera de las partículas más densas y de los grandes flóculos. El decantador incorpora un vibrador que evita que se adhiera el lodo a sus paredes y favorece la concentración del mismo.

***Descripción y composición del filtro prensa:*** filtro de accionamiento hidráulico con 6 cámaras de prensado y 2,16 m<sup>2</sup> de superficie de filtrado. Esta formado por una base y una placa fija, placas móviles que al cerrarse el filtro crean las seis cámaras de prensado y un grupo hidráulico para accionar la bomba del lodo y el filtro prensa.

El filtro se completa con varios elementos de control como una superficie de cierre elástico de las cámaras de prensado que permite regular el espesor de las tortas en función de la dificultad de filtración del lodo, fines de carrera que regulan la apertura y cierre del filtro, una sonda que controla la sequedad de las tortas y un autómata programable que permite controlar y variar las características del ciclo.

#### **- Detalle del ciclo**

Una vez cerrado el filtro y cerradas las cámaras de prensado se procede al llenado de las mismas por medio de una bomba, que es accionada por el mismo grupo hidráulico del filtro. La presión de llenado es regulable. La sonda que controla la sequedad de las tortas ordena el fin del llenado del filtro, pasando al ciclo de prensado de éstas y cuando se alcanza la sequedad deseada ordena la apertura del filtro. Una vez desprendidas las tortas el filtro se cierra y se inicia automáticamente una nueva operación.

# CAPITULO 4

## 4. DISEÑO DE PLANTA

### 4.1 Descripción del Proceso Productivo

El proceso productivo es dividido en dos etapas:

La primera etapa consiste en el bloqueo de la piedra y su posterior corte en tajadas regulares de acuerdo a la medida deseada. La segunda parte del proceso corresponde a la obtención de plaquetas o baldosas por medio de máquinas escuadradoras y su posterior calibrado, pulido y biselado. Las máquinas se han seleccionado para la obtención de 250 mt<sup>2</sup> en un turno de 8 horas y más adelante se propone una mejora prevista para que con una mínima inversión se duplique la producción.

### 4.2 Selección de Máquinas

A continuación se detalla con sus respectivas características cada una de las máquinas comprendida en esta línea productiva.

#### A) Línea de Bloqueo y Corte:

##### Bloqueadora

La estructura de la máquina está formada por el puente fijo y las mesas que soportan el material y recorren sobre rieles. El puente es de construcción sólida, y va montado sobre dos caballetes metálicos dispuestos a ambos lados de la mesa. A lo largo del puente se desliza un carro portador del motor y del eje portador del disco de corte. Sobre las mesas se colocan paletas de madera en donde son colocadas las piedras para facilitar su carga y descarga.



**Figura 4.1 Bloqueadora**

**Tabla 9****Características técnicas de la bloqueadora**

Potencia motor cabezal	75 Hp
Potencia motores auxiliares	4 Hp
Diámetro del disco	1600 mm
Recorrido útil de corte	2000 mm
Movimiento vertical	Fijo
Superficie de las mesas	2000 x 2000
Consumo de agua	80 Lt/min.
Regulación electrónica de la velocidad de avance	

**Tajadoras**

Estas máquinas son similares a las bloqueadoras, pero con la diferencia que las mesas son fijas y lo que se mueve es el puente.



**Figura 4.2 Cortadora de tajadas**

**Tabla 10**  
**Característica técnicas de la tajadora**

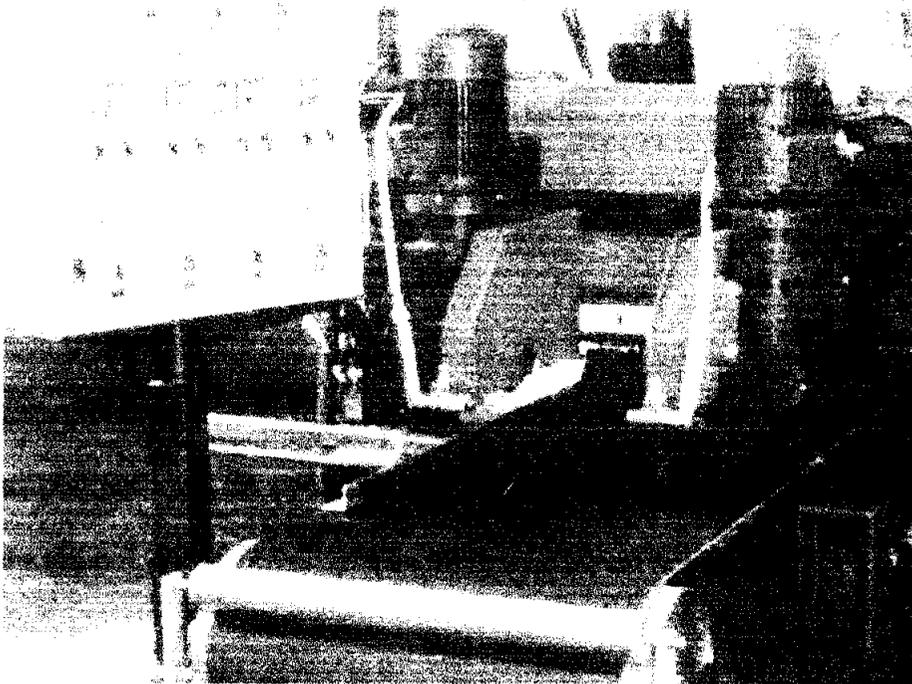
Potencia motor cabezal	75 Hp
Potencia motores auxiliares	9 Hp
Diámetro del disco	1200 mm
Recorrido útil de corte	3200 mm
Ancho útil de corte	3200 mm
Movimiento vertical	1000 mm
Consumo de agua	60 Lt/min.
Regulación electrónica de la velocidad de avance	



## **B) Línea de escuadrado y acabado superficial**

### **Cortadora Longitudinal**

Esta máquina está constituida por una bancada con una cinta transportadora que hace pasar las planchas a través de dos cabezales dispuestos de forma paralela y regulables según la medida del corte a obtener.



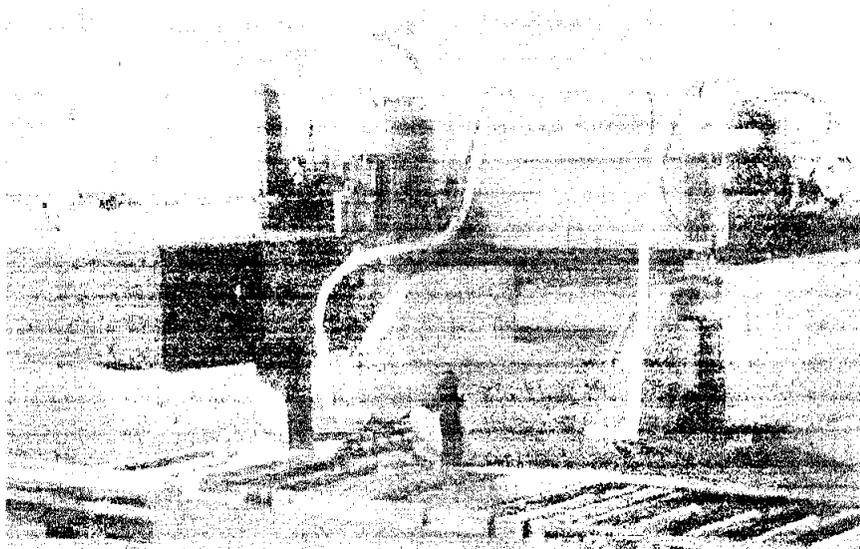
**Figura 4.3 Cortadora Longitudinal**

**Tabla 11**  
**Características técnicas de la cortadora longitudinal**

Número de cabezales de corte	2
Potencia motor disco	10 Hp
Potencia motores auxiliares	2 Hp
Diámetro de discos	350 mm
Ancho útil de trabajo	600 mm
Movimiento vertical	Eléctrico
Consumo de agua	30 Lt/min.
Regulación electrónica de la velocidad de avance	

### **Cortadora Transversal**

En esta máquina la tajada está fija y el movimiento de corte lo realiza el puente, que se desplaza con dos cabezales paralelos y regulables de los cuales se obtienen dos baldosas de un solo corte.



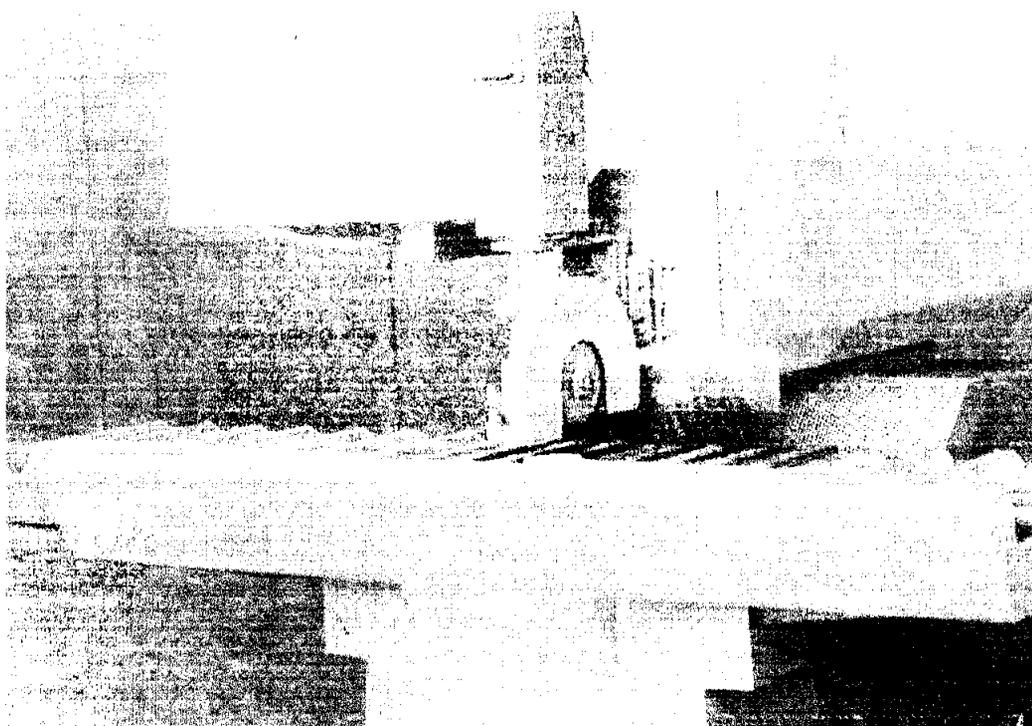
**Figura 4.4 Cortadora transversal**

**Tabla 12**  
**Característica técnicas de la cortadora transversal**

Número de cabezales de corte	2
Potencia motor disco	10 Hp
Potencia motores auxiliares	2 Hp
Diámetro de discos	400 mm
Recorrido útil de corte	400 mm
Movimiento vertical	Eléctrico
Largo de mesa de rodillos	4000 mm
Consumo de agua	40 Lt/min.
Regulación electrónica de la velocidad de avance	

### **Cortadora Transversal Simple**

El principio es igual al de la cortadora transversal, la diferencia es que solo obtiene una baldosa por corte.



**Figura 4.5 Cortadora transversal simple**

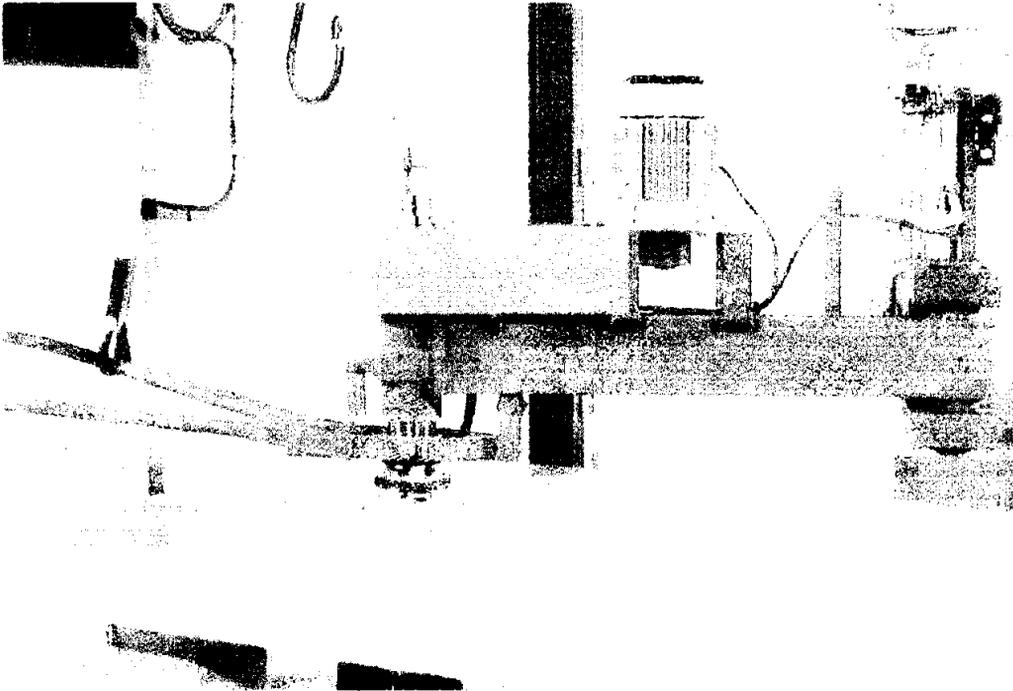
**Tabla 13**  
**Características técnicas de la cortadora transversal simple**

Número de cabezales de corte	1
Potencia motor disco	10 Hp
Potencia motores auxiliares	1.5 Hp
Diámetro de discos	350 mm
Recorrido útil de corte	400 mm
Movimiento vertical	fijo
Largo de mesa de rodillos	3000 mm
Consumo de agua	20 Lt/min.
Regulación electrónica de la velocidad de avance	

### **Pulidora de Brazo**

Se trata de una máquina de pulir mediante abrasivos colocados en un plato giratorio del cabezal móvil. Existen diversos modelos dependiendo de la superficie a pulir. La estructura de la máquina consta de un cabezal móvil rotacional montado sobre un brazo articulado. El cabezal es guiado por el operario a todo lo largo y ancho de la pieza a pulir mediante una asadera. El desplazamiento vertical del brazo se realiza sobre una columna de acero mediante un volante

y opcionalmente se puede suministrar con un motor. Además va incorporado un pistón neumático para el accionamiento ascendente y descendente del cabezal con respecto a la superficie a trabajar.



**Figura 4.6 Pulidora de brazo**

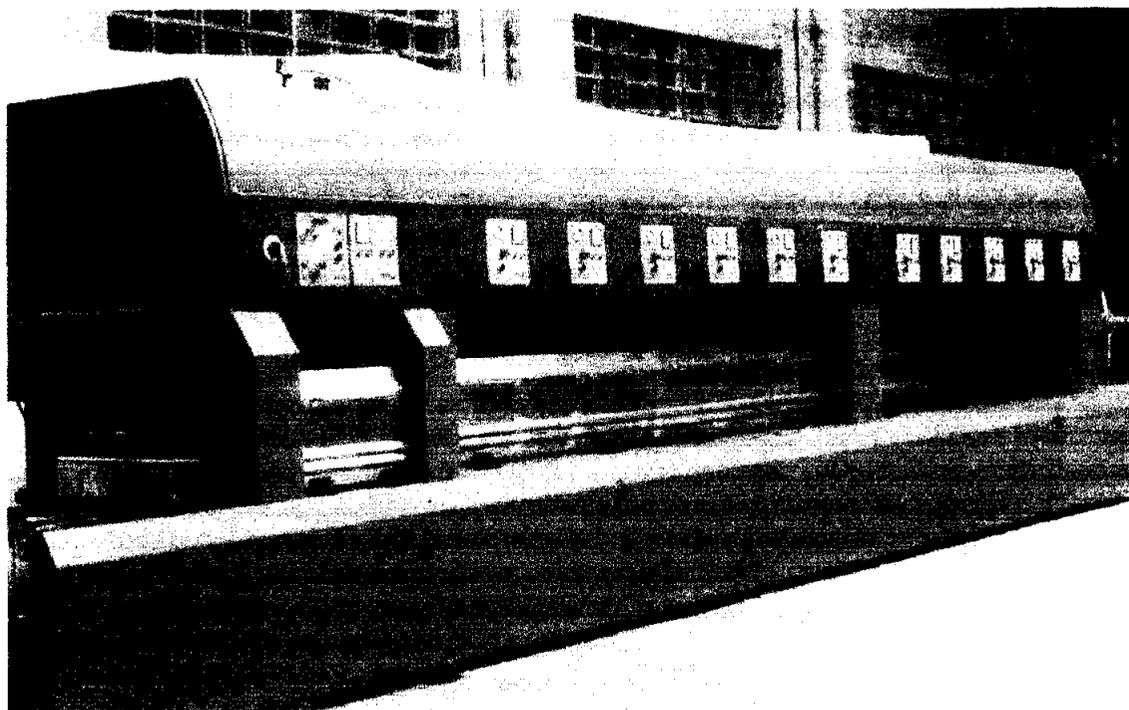
**Tabla 14**  
**Característica técnicas de la pulidora de brazo**

Potencia motor cabezal	10 Hp
Diámetro del plato	300 mm
Desplazamiento Vertical	400 mm
Superficie de pulido	1500 x 3000
Consumo de agua	20 Lt/min.

### **Calibradora y Pulidora Automática**

El acabado de superficie más común es el obtenido por medio del pulimento, que se lleva a cabo por medio de máquinas de diversos tamaños y capacidades, según se acentúe sobre piezas ya cortadas o sobre grandes planchas. La acción sucesiva de cabezales con platos horizontales abrasivos de granulometría cada vez más fina, consiguen desde los acabados intermedios, tales como el amolado y apomazado, hasta el brillo más espectacular que consiente la piedra tratada.

La máquina se comprende de dos etapas una de calibrado y otra de pulido y abrillantado. La primera etapa que es la de calibrado consta de dos cabezales con coronas diamantadas las que se encargan de unificar la altura de las baldosas, para posteriormente pasar por 12 cabezales de abrasivos que se encargan de apomazar y abrillantar el material.



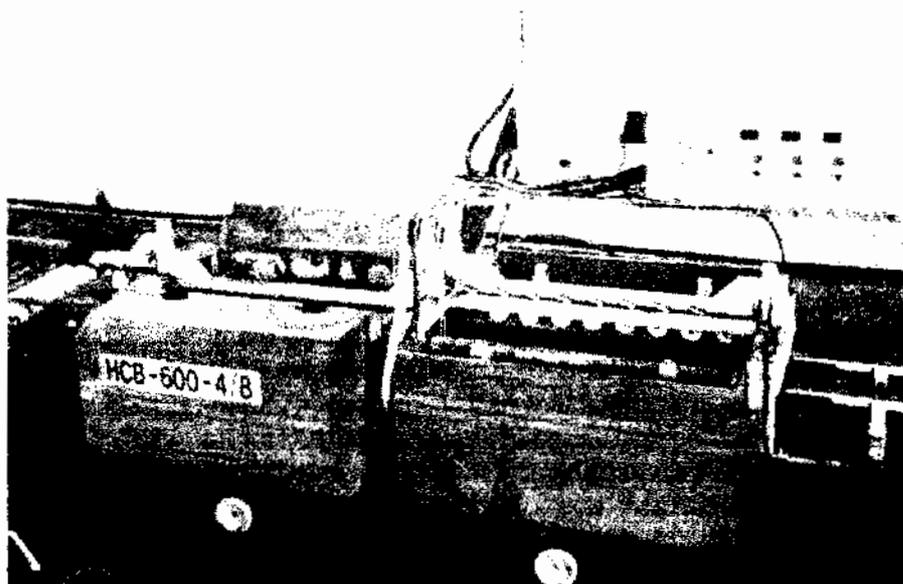
**Figura 4.7 Calibradora y pulidora automática**

**Tabla 15**  
**Características técnicas de la calibradora-pulidora automática**

Número de cabezales de calibrado	2
Número de cabezales de pulido	12
Potencia motores cabezales calibrado	25 Hp
Potencia motores cabezales pulido	7.5 Hp
Potencia motores auxiliares	2 Hp
Diámetro cabezales de fresa diamantada	450 mm
Ancho máximo de trabajo	400 mm
Movimiento vertical	Eléctrico
Consumo de agua	80 Lt/min.
Regulación electrónica de la velocidad de avance	

### **Biseladora**

La misión de esta máquina es la de darle un toque decorativo a la baldosa y a la vez una ranura en la parte posterior para facilitar la adhesión al cemento durante la instalación. El toque decorativo consiste en un bisel de uno a dos milímetros de profundidad en las cuatro aristas de la placa.



**Figura 4.8 Biseladora de aristas**

**Tabla 16**  
**Característica técnicas de la biseladora**

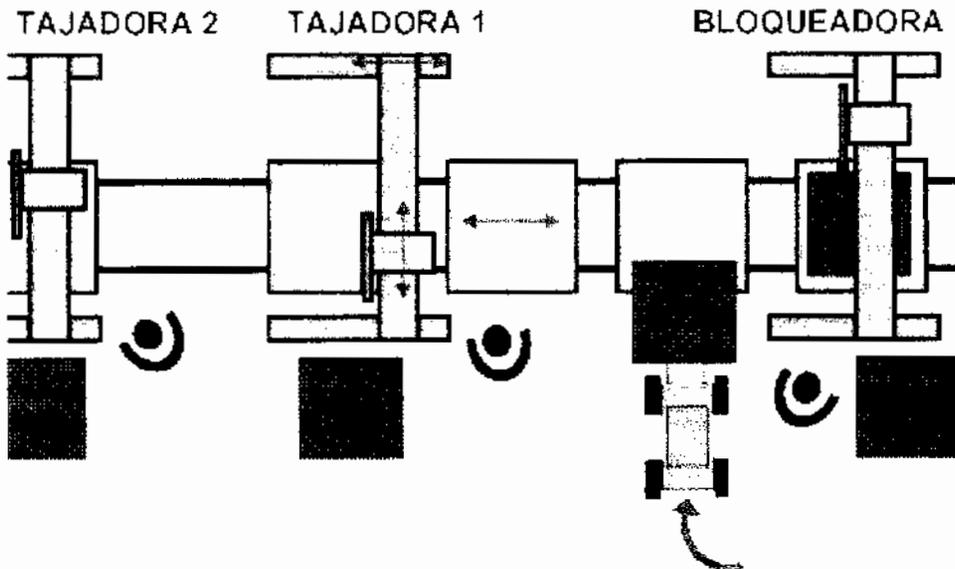
Medida máxima de las piezas	400 x 400
Medida máxima de las piezas	300 x 300
Cabezales biseladores	8
Potencia de cada cabezal	1 Hp
Potencia mototes auxiliares	1.5 Hp

### 4.3 Distribución de Planta

Para que se haga efectiva la producción de 250 mt<sup>2</sup> en un turno de ocho horas se precisa la cantidad siguiente de máquinas:

- 1 Bloqueadora de puente
- 2 Tajadoras de puente
- 1 Cortadora longitudinal
- 1 Encabezadora simple (cortadora transversal)
- 1 Encabezadora Doble (cortadora transversal)
- 1 Pulidora de brazo (es opcional)
- 1 Calibradora-pulidora automática
- 1 Biseladora

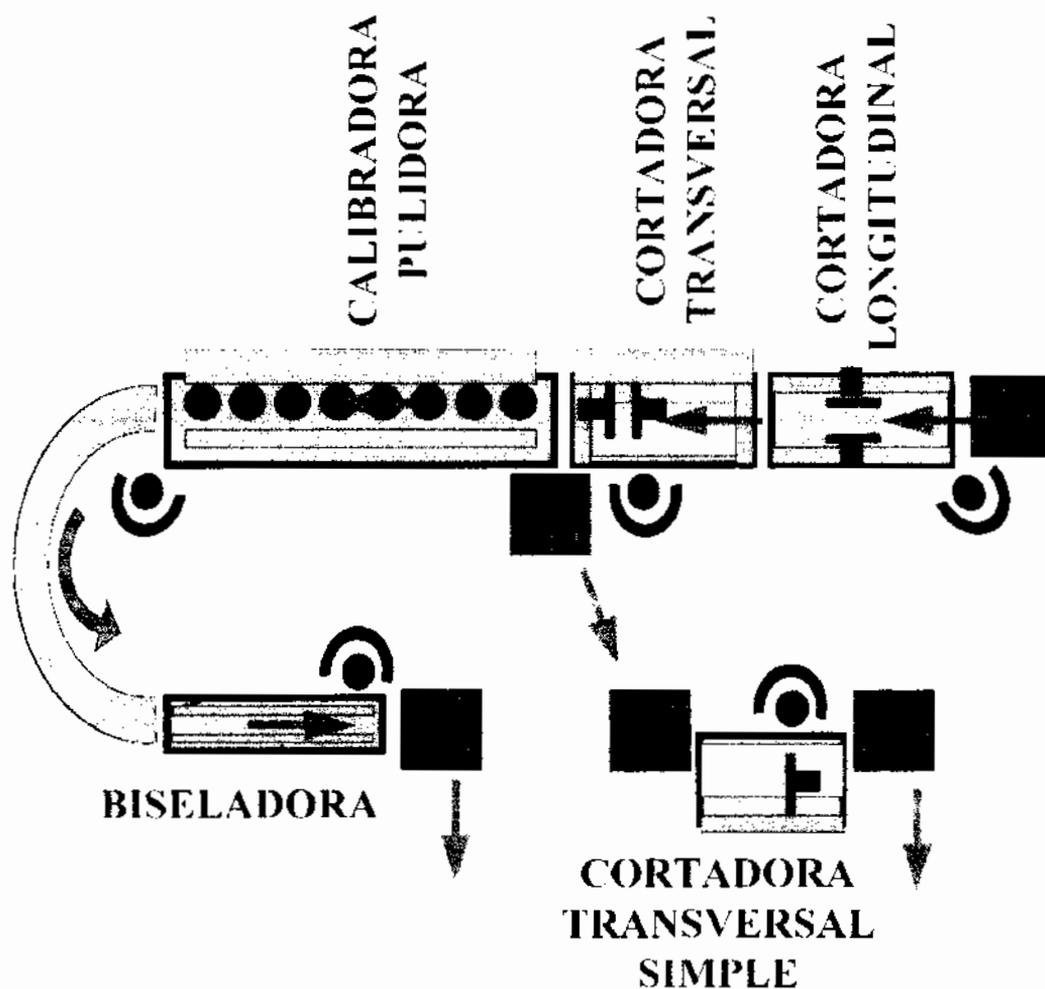
**Línea de bloqueo y corte:**



**Figura 4.9 Ubicación de cortadoras de bloques y tajadas**

Esta línea comprendida por tres máquinas estaría manejada básicamente por tres operarios y un conductor del montacargas, los mismos que se apoyarían entre sí. Cada maquinas estaría comprendida por dos mesas que se desplazan sobre un riel, para que de esta forma mientras se está en el proceso de descarga-carga de una mesa la máquina continúe produciendo con la segunda mesa previamente cargada.

**Línea de escuadrado y acabado superficial:**



**Figura 4.10 Esquema de línea de escuadrado y pulido**

Esta línea de acabado estaría comprendida por 5 operarios ubicados uno en cada máquina, siendo el quinto opcional ya que la cortadora transversal simple (o encabezadora simple) también lo sería si se quisieran obtener de los retazos un subproducto de medidas rectangulares variables. En la figura 4.10 no se contempla la pulidora de brazo que sería para hacer mesones y escalones que son productos especiales, en el caso de disponer de una de ellas se

consideraría la inserción de un sexto operario para dicho fin. Todos los operarios estarían con la capacidad para realizar operaciones en cualquiera de los puestos de trabajo, esto quiere decir que se tendrían operarios polivalentes.

Para un buen flujo del material en el proceso es recomendable la disposición en "U" del mismo. Esta disposición de las máquinas facilita la interacción entre los operarios y la ayuda mutua sin descuidar su puesto de trabajo.



**Figura 4.11 Esquema del proceso en "U" de acabado**

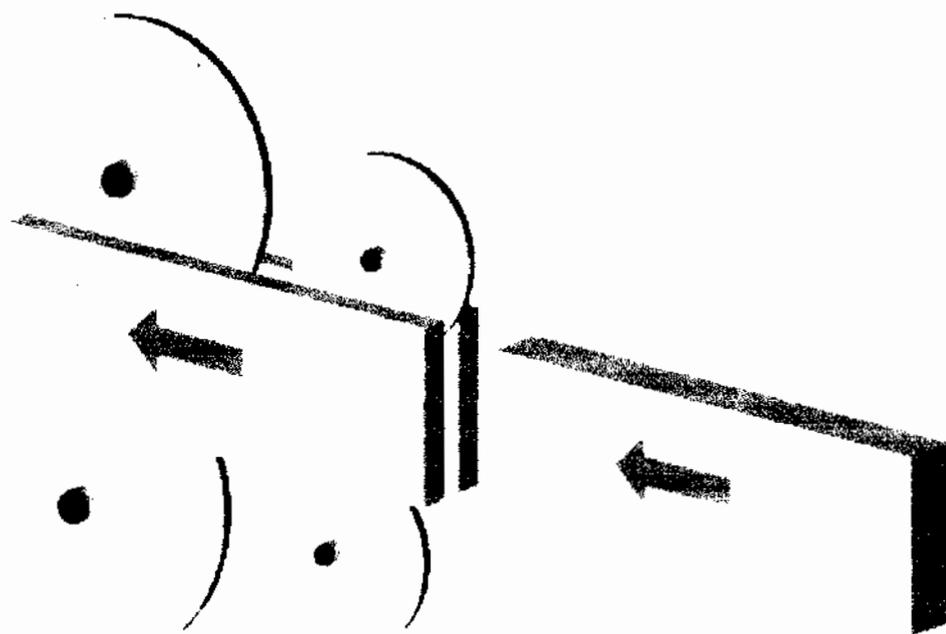
### **Propuesta para Duplicar la Producción**

En el caso de querer duplicar la producción en un momento determinado a mediano o largo plazo, existe la posibilidad de adquirir

una máquina desdobladora, la cual tiene la función de cortar en dos una plancha a lo largo de la misma.

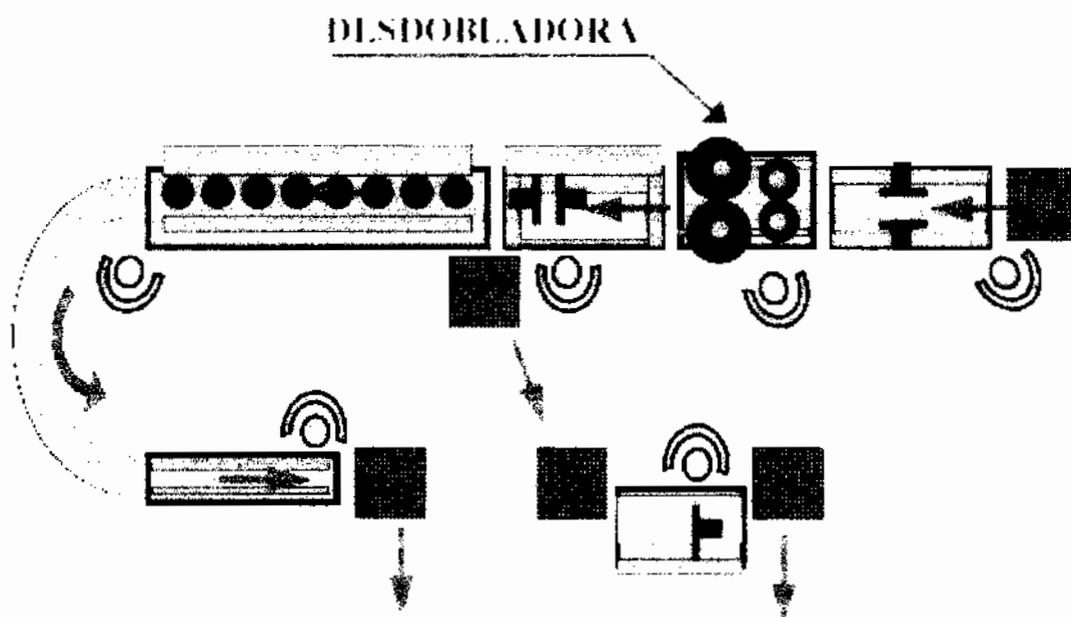
En este caso las dos tajadoras cortarían planchas más gruesas, para luego ser cortadas en dos por la desdobladora (Figura 4.14). Esto es factible, debido a la gran rapidez que tiene esta máquina en cortar en dos una plancha (Figura 4.12), ya que el proceso de corte lo realiza con varios discos sucesivos y escalonados. Esta máquina sería colocada antes de la cortadora longitudinal y operada por una sola persona.

Como ejemplo: si quisiéramos obtener plaquetas de 12mm de espesor, lo que tendremos que cortar con las tajadoras serían planchas de un grueso de 30 mm, de esta manera conseguiríamos 2 planchas de 12 mm cada una y la diferencia correspondería a lo que merma el segmento del disco de corte.



**Figura 4.12 Esquema del desdoblamiento de tajadas**

A continuación se detalla la ubicación de la nueva máquina:



**Figura 4.13 Esquema de nueva línea de escuadrado y pulido**

### **Máquina de Desbobladora**

El propósito de ésta máquina como su nombre lo indica es la de dividir en dos partes el espesor de una baldosa. Este proceso se lo realiza con cuatro o seis discos de corte de diámetros progresivos ascendentes dependiendo de la velocidad con que se quiera trabajar. De esta manera es factible duplicar la producción de las tajadas. Si por ejemplo actualmente se obtienen tajadas de 12 mm y se requiere duplicar la producción de las tajadoras, lo que hay que hacer es cortar tajadas de 29 mm considerando que los discos de la desdobladora tienen un espeso de 5 mm, y así se obtendrían a partir de éstas, dos tajadas de 12 mm cada una.



**Figura 4.14 Máquina desdobladora**

**Tabla 17**  
**Característica técnicas de la desdobladora**

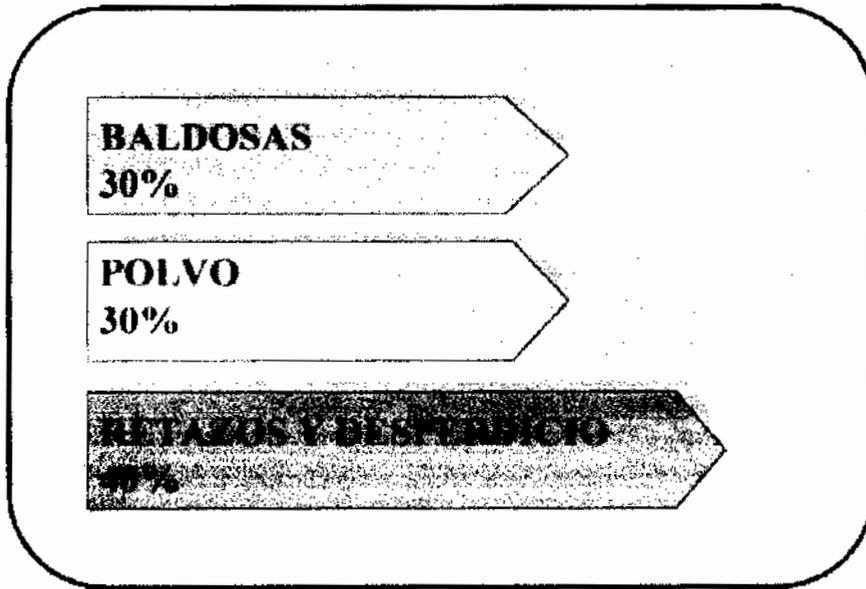
Número de cabezales	4
Potencia motores	25 Hp
Potencia motores auxiliares	1.5 Hp.
Diámetro de los discos	500 - 625 mm
Anchura útil	400
Grueso del material	20 - 80 mm
Consumo de agua	110 Lt/min.
Regulación electrónica de la velocidad de avance	

### **Datos relativos a la Producción**

Según datos históricos obtenido por empresas del sector, el rendimiento de la piedra caliza extraída en las canteras nacionales oscila entre 3 y 4.5 qq de piedra por metros cuadrados de baldosas obtenidas, dependiendo de la calidad de la piedra. Esto quiere decir que para llegar a una producción de 250 mt<sup>2</sup> en un turno de 8 horas es necesario contar con un abastecimiento seguro de 1125 qq por turno establecido. Es por estos datos que el rubro de la materia prima es el mas alto a considerar en el proceso, el mismo que se mantiene con la buena selección en cantera y su optimizando durante el corte.

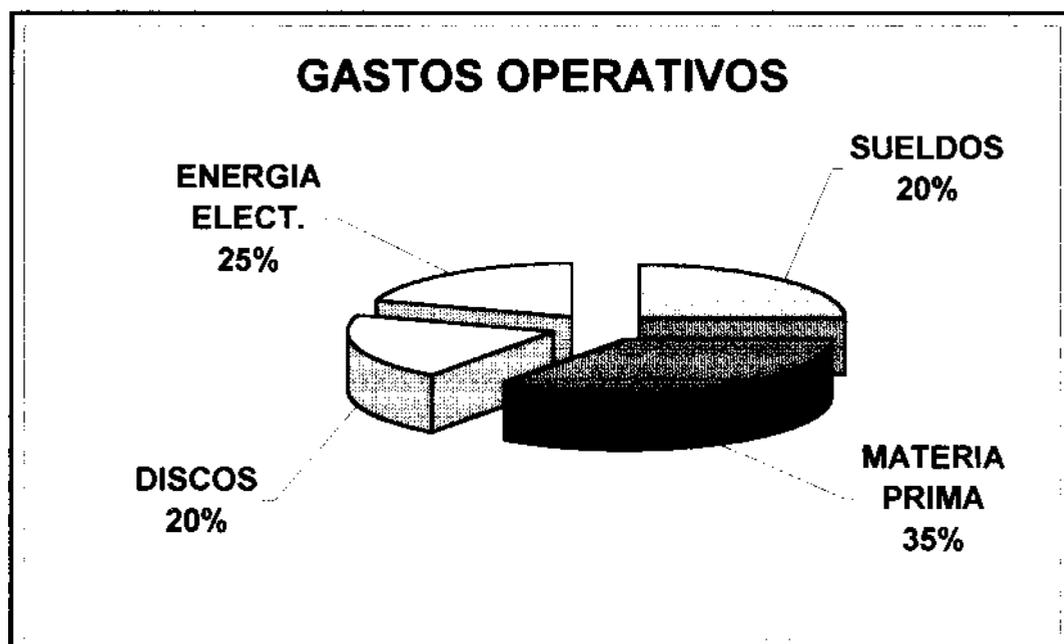
Optimizando la producción, la cantidad desalojada de material durante el corte sería de aproximadamente un 30%, esto quiere decir que en el 70% sobrante de la piedra están las baldosas como producto principal, y medidas variables y retazos como subproductos (ver figura 4.15).

Actualmente las empresas tienen un aprovechamiento de piedra para baldosas de 15 - 20%, para retazos y desperdicios 45 - 50%, y para polvo 30 - 40%.



**Figura 4.15 Relación de producto y subproductos**

La relación de gastos operativos en porcentajes desde el suministro de la material prima hasta su elaboración final está representada en la figura 4.13. Estos gastos están obtenidos a partir de un promedio de 200  $\text{m}^2$  para un turno de 8 horas.



**Figura 4.16 Porcentajes de gastos operativos**

Un disco de corte de  $\varnothing 1200$  mm para este tipo de piedra tiene una producción aproximadamente entre 1800 y 2400  $\text{m}^2$  de tajadas. Esto varía en función de la buena o mala utilización del disco por parte del operario y el respectivo control que se ha mencionado en el capítulo 3.

### Inversión requerida

A continuación se detalla la inversión de equipos que se requieren para montar una fábrica nueva, y adicionalmente los costos de adaptación para fábricas que estén trabajando a las cuales se les pueden hacer modificaciones y automatismos.

**Tabla 18**  
**Inversión para máquinas nuevas**

<b>Cantidad</b>	<b>Máquinas</b>	<b>US\$/unid.</b>	<b>Total US\$</b>	<b>Costo de modificación**</b>
<b>1</b>	<b>Bloqueadora</b>	<b>30.000</b>	<b>30000</b>	<b>10.000</b>
<b>2</b>	<b>Tajadora</b>	<b>30.000</b>	<b>60000</b>	<b>20.000</b>
<b>1</b>	<b>Cortadora longitudinal</b>	<b>17.000</b>	<b>17000</b>	<b>5.000</b>
<b>1</b>	<b>Encabezadora doble</b>	<b>18.000</b>	<b>18000</b>	<b>5.000</b>
<b>1</b>	<b>Calibradora-pulidora</b>	<b>80.000</b>	<b>80000</b>	<b>80.000</b>
<b>1</b>	<b>Biseladora</b>	<b>13.000</b>	<b>13000</b>	<b>5.000</b>
	<b>Total</b>		<b>218.000</b>	<b>125.000</b>
	<b><u>Opcional</u></b>			
<b>1</b>	<b>Encabezadora Simple</b>	<b>10.000</b>		
<b>1</b>	<b>Pulidora de brazo</b>	<b>8.000</b>		
	<b><u>Opción de futuro*</u></b>			
<b>1</b>	<b>Desdobladora</b>	<b>40.000</b>		
	*Para duplicar la producción			
	**Para fábricas que estén trabajando			

Según estos datos las máquinas seleccionadas dan un valor mensual de amortización de US\$4.723, considerado para 10 años a un interés del 16% anual.

Adicionalmente es necesario para este tipo de proceso productivo la instalación de una pequeña planta de depuración de agua, la misma que se encarga de separar el polvo del agua de enfriamiento para luego ser recirculada al sistema. Este polvo posteriormente es compactado y secado, y así poder ser comercializarlo como carbonato de calcio.

De esta manera se minimiza el deterioro de las máquinas y favorece las condiciones de trabajo, ya que el agua recirculada está libre de partículas. También un punto importante a considerar es que se reduce a cero el impacto sobre el medio ambiente.

El costo de esta planta depuradora es de US\$50.000. considerando que para la producción de 250 mt<sup>2</sup> diarios se obtienen 4.500 qq (204.000 Kg) de polvo al mes, esto daría una cantidad de recuperación de US\$2.250 mensual por venta del mismo a 0.5 por qq. Si contamos con un 16% de interés la planta estaría recuperada en menos de 3 años.

#### **4.4 Optimización de recursos**

##### **La Piedra**

La optimización de recursos comienza en la selección de la piedra que se va a bloquear en función de la medida de las plaquetas que se quiera obtener al final del proceso, de esta forma se controla para obtener el mayor aprovechamiento de la piedra y por ende el menor desperdicio de la misma.

##### **La Energía Eléctrica**

Este es uno de los factores que interviene en el análisis de coste de producción, ya que estamos trabajando con potencias relativamente elevadas. Es por esto, que hay que controlar el consumo eléctrico, ya que en las horas pico se penaliza. Se aborda este tema, porque al cortar menos área de piedra el consumo es menor y ahí entra la planificación del departamento de producción de seleccionar bloques a trabajar en función de los pedidos.

Otro factor por el que se consume mas energía es cuando el disco ha perdido filo. Esto se soluciona llevando a cabo el control frecuente de velocidad de corte mostrado en el *capítulo 3*.

### **El Agua**

El agua siempre está presente en estos procesos como enfriador, lubricante y vehículo de eliminación de los lodos que se originan. Es necesario controlar la cantidad de agua que riega cada máquina, que aunque no se está derrochando debido a que es un circuito cerrado, se está consumiendo en energía utilizada para su bombeo. Hay que considerar que si se utiliza un sistema de decantación y de prensado de lodos, ésta instalación permitiría la recuperación de un setenta y cinco por ciento del agua que se utiliza.

### **Los Operarios**

Hay que instruir al personal responsable de cada máquina para el correcto funcionamiento de la misma y que tengo conocimientos de productividad y optimización sin reducir la calidad del producto que está trabajando.

# CAPITULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Lo primero que hay que tener en cuenta para llegar a ser una empresa líder es conciencia de la gran industrialización que está experimentando el sector de la piedra natural en otros países, observando un rápido crecimiento en la inversión de bienes de equipo en los talleres de marmolería, lo que está transformando, los métodos y maneras convencionales de elaborar la piedra (métodos artesanales en procesos industriales). Si se acepta que esto es así y que las tendencias de procesos pasan por la automatización y sistematización continua de los métodos de trabajo, hay que convenir que el siguiente paso que hay que asumir es la racionalización y organización de la producción, a fin de optimizar el rendimiento y resultados sobre las inversiones y bienes de equipo realizados. En este sentido y en este momento, empieza ya a ser imprescindible entender el valor de la palabra productividad.

- Realizando un minucioso y organizado control de la producción con los procedimientos y equipos expuestos en la presente tesis se llegaría a una producción de 250  $\text{m}^2$  en un turno de 8 horas, lo que representaría un incremento de hasta un 150% de la producción de las fabricas actuales. Llegar a este nivel de producción es posible gracias a la automatización de las máquinas que intervienen en el proceso, claro está sin descuidar el respectivo control de los parámetros de corte y calidad.
- El rendimiento de la piedra es de 3.0 a 4.5 quintales por metro cuadrado de baldosa, esto quiere decir que de la piedra se aprovecha entre un 22 y un 33% para la obtención de las mismas. El resto corresponde a retazos, desperdicios y polvo.
- Con la incorporación de la planta depuradora de agua se recupera aproximadamente el 30% de la piedra que es arrancada por la herramienta y arrastrada durante el corte, y de esta manera es posible su comercialización como Carbonato de Calcio. Además se minimiza el deterioro de las máquinas y favorece las condiciones de trabajo, ya que el agua recirculada está libre de partículas.
- Los retazos y desperdicios que se obtienen en este proceso corresponden aproximadamente a un 40% de la piedra.

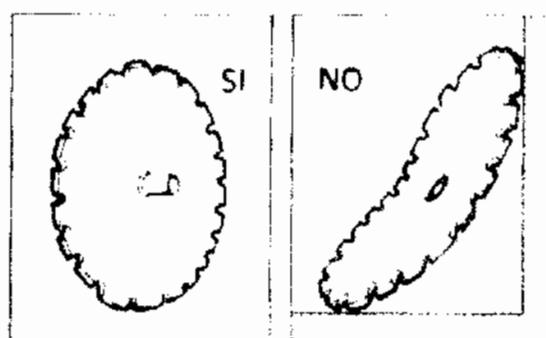
- Con la incorporación de una máquina desdobladora, es posible duplicar la producción, si se quisiera en un mediano o largo plazo. Esto quiere decir que la producción podría llegar a ser de 500  $\text{m}^2$  en un turno de 8 horas.
- La mayoría de las empresas se dedican solo al corte del material para luego ser instalado y pulido in-situ, es por esto, que cortan la plaqueta de un espesor de 15mm, ya que su pulido se lo realiza con máquinas robustas in-situ posterior a su instalación. Por el contrario, en ésta nueva línea productiva se obtendría plaquetas de 10 mm de espesor y con un pulido de alta calidad, y solo bastaría su colocación con cemento blanco en obra. Esto nos da un aumento del aprovechamiento de la piedra de un 10 a 11%. De esta manera además se evitan las ondulaciones que deja el pulso del operario al pulir las baldosas manualmente.
- La ventaja de las tajadoras de puente en donde el cabezal se mueve sobre él, es que no soporta vibraciones ni golpeteos al colocar las piedras con el montacargas, ya que en las fabricas artesanales el cabezal es fijo y el movimiento de corte lo realiza la mesa. Estos golpeteos con el tiempo generan desalineamiento de la mesa y por ende desviaciones durante el corte.
- Tanto en la extracción de las piedras naturales como en todas las fases de su elaboración, siempre se hace uso de procesos físicos simples, en los que no hay emisiones de gases, no hay contaminación química ni

vertidos de los temidos metales pesados. Por otro lado, los subproductos resultantes son susceptibles de aprovechamiento. De todo ello podemos concluir que la piedra es un producto ecológico de primer orden.

- El producto obtenido por medio de este proceso cumple con las normas de calidad, ya que las máquinas están fabricadas con tecnología de punta. De esta manera es posible incrementar las ventas realizando exportaciones a países vecinos.
- Para los empresarios que estén interesados en montar una planta nueva de esta índole con última tecnología, la inversión mínima con la que tendrían que contar para los equipos sería de unos US\$ 268.000 para una producción de 250 mt<sup>2</sup> en un turno de 8 horas. La máquina desdobladora, tendría una inversión adicional de alrededor de US\$ 40.000, la misma que duplicaría la producción.
- El estudio realizado en la presente tesis no solo sirve para la piedra caliza, sino para el mármol, el mismo que se encuentra en diferentes yacimientos de nuestro país.
- Para una fábrica nueva los gastos operativos serían: 22% para energía eléctrica, 33% para materia prima, 17% para discos, 15% para mano de obra y 13% para amortización.

## RECOMENDACIONES

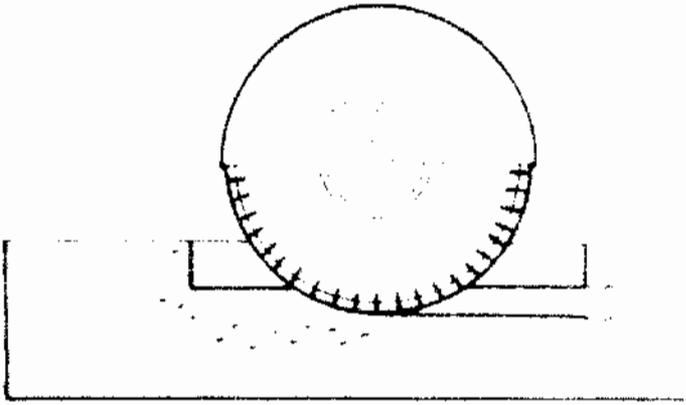
- Como una recomendación muy positiva es la colocación de electroválvulas para la refrigeración del disco y que se activen y desactiven de forma conjunta con el arranque del motor de disco, para así evitar fallos por parte del operario de olvidarse de abrir la salida del agua. Hay que tener en cuenta de hacerlo de tal manera que cuando se vaya por algún fallo el suministro de energía eléctrica la electro-válvula siga abierta, para que mientras el disco gira por su propia inercia no se quede sin refrigerar.
- Es necesario realizar bloques con proporción de 30% de cemento y 70% de arena y dejarlos secar bien, para ser utilizados cuando baje la velocidad de corte controlada por el operario, para de esta manera no disminuir el nivel de producción. La forma de utilizar el bloque es haciendo varios cortes con el disco a velocidad reducida y con poca cantidad de agua. Hay que tener en cuenta de no abusar de esto ya que también de esta manera se disminuye la vida útil del disco.
- En el momento de la recepción de un disco, si su uso no es inmediato, es necesario colocarlo sobre una superficie plana o, preferentemente, colgarlo por el orificio. Nunca debe ser apoyado a un muro como se muestra en la figura 5.1.



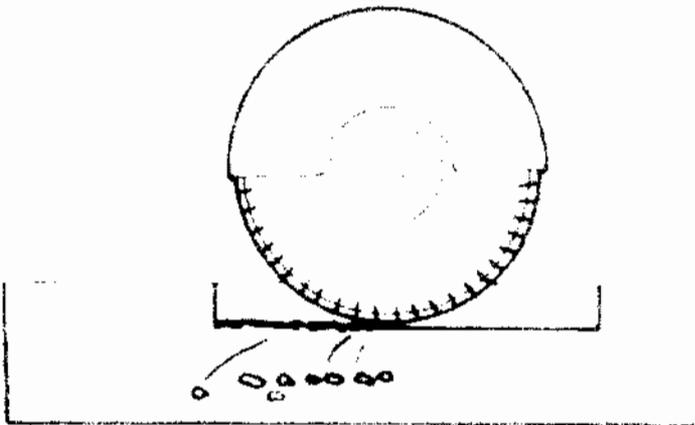
**Figura 5.1 Forma correcta de la colocación de un disco**

- Controlar siempre las correas de transmisión, su estado y su tensión es muy importante. Las poleas tienen que estar perfectamente limpias y los asientos de las correas en condiciones óptimas. Correas consumidas o en mal estado, provocan siempre una inadecuada transmisión del movimiento, el deslizamiento de las mismas sobre las poleas con consiguientes variaciones de la velocidad periférica, peligro de bloqueo instantáneo de la máquina y consiguientes esfuerzos negativos sobre el disco. Pueden provocar, también vibraciones que, transmitidas a través del eje a la herramienta, contribuyan a la trituración precoz del diamante favoreciendo la separación del aglomerante.
- Para empresarios que quieran comenzar con un proyecto de este tipo es recomendable que consideren la posibilidad de ubicar la fábrica cerca de las canteras, ya que de esta manera disminuyen el costo de transporte y facilita la selección de la piedra en la misma.

- Es recomendable la utilización de paletas de madera para el transporte de las plaquetas de una máquina a otra y más aún la colocación de cintas de caucho o goma debajo de las plaquetas para evitar el despostillamiento de las esquinas y las aristas.
- Es recomendable aunque no esta en este estudio, la posibilidad de hacer un control en cantera de la calidad de la piedra por medio de ensayos de sonido para verificar el grado de homogeneidad del material. La aplicación del control sónico permite detectar las posibles fracturas en los materiales pétreos, ya que generalmente son sólidos y homogéneos y cualquier discontinuidad en su interior queda reflejada de manera evidente.
- Al realizar el corte con la cortadora longitudinal y con las escuadradoras lo correcto para no causar despostillos en la parte inferior de la baldosa, es hacer el corte con el disco con 1.5 a 2 cm por debajo de la cara inferior (ver figura 5.2 y 5.3). En el caso de la bloqueadora y las tajadoras se puede realizar el corte al mismo nivel de la cara inferior ya que no es necesario un buen acabado en esas etapas.



**Figura 5.2 Forma correcta de realizar el corte de una baldosa**



**Figura 5.3 Forma errónea de realizar el corte de una baldosa**

- En el caso de encontrar una fisura entre dos dientes del disco de acero, se procede a hacer un orificio de 3 – 4 mm de diámetro para detener el crecimiento de la misma y seguir trabajando.

**APÉNDICE A**  
**CERTIFICADO DEL POLVO OBTENIDO DEL PENSADO**



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA  
DEL LITORAL**

*Ciencia, Tecnología y Educación al servicio del País*

**ESPOL**

**INSTITUTO DE CIENCIAS QUIMICAS**

**CERTIFICACION DE RESULTADOS**

Fecha de recepción:	Diciembre 1ro. 1985	No. 548
SOLICITANTE:	<b>MARMOLES Y PIEDRAS S.A.</b>	
CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA:	<b>M. DE PIEDRA CALIZA</b>	
OBSERVACIONES:		
TIPO DE ANALISIS:	CUANT. X CUALIT.	OTROS
<b>R E S U L T A D O S</b>		
PARAMETROS	UNIDADES	MUESTRA
CARBONATO DE CALCIO	%	98.03
OXIDO DE ALUMINIO	%	0.62
OXIDO DE HIERRO	%	0.31
OXIDO DE MAGNESIO	%	0.65
OXIDO DE SILICIO	%	0.40
CALCIO*	%	39.2
OBSERVACIONES: * El calcio se encuentra incluido en el compuesto carbonato de calcio.		
 <b>ING. JUSTO HUAYAMAVE N.</b> <b>DIRECTOR</b>		
FECHA ENTREGA DE RESULTADO DICIEMBRE 8, 1985		

**A SUS ORDENES TELEFAX: 853368**

Rosa Mendoza S.

**APENDICE B  
EQUIVALENCIA DE TAMAÑOS DE GRANOS**

Granulometría FEPA	US STANDARD ASTM E11 (Mesh)	Norma DIN 848		Tamaño de malla (micrón)
		Estrecho	Ancho	
D1181	16/18		D1100	1090
D1001	18/20		D900	925
D851	20/25		D700	780
D711	25/30			655
D601	30/35	D550	D500	550
D501	35/40	D450		463
D426	40/45		D350	390
D356	45/50			328
D301	50/60	D280	D250	275
D251	60/70	D220		231
D213	70/80	D180	D150	196
D181	80/100			165
D151	100/120			138
D126	120/140	D110	D100	116
D107	140/170	D90		98
D91	170/200		D70	83
D76	200/230	D65		69
D64	230/270	D55	D50	58
D54	270/325	D45		49
D46	325/400			42

**1 micrón = 1/ 1000 mm.**

## BIBLIOGRAFIA

1. Datos Experimentales  
Gerente de Producción, Mármoles y Piedras S.A., Guayaquil - Ecuador,  
1994-1998
2. Documentación técnica  
Know How / Join-Venture, Canigó - Maquinaria para la industria de la  
piedra, España, 1998-2000
3. Libro  
Células flexibles de fabricación, zekine
4. Artículo revista  
La productividad del trabajador: máximo desafío  
Harvard business review, (septiembre-octubre 2000)
5. Libro  
El Just in Time hoy en toyota, Yasuhiro Monden
6. Introducción al estudio del trabajo, Cuarta Edición

