



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

Facultad de Ingeniería Mecánica.

Centro de Investigaciones de Soldadura

Trabajo de Diploma

Discos Abrasivos para la Limpieza de Soldaduras

Autor: Francisco Garcia Paz.
Tutores: Dr. Carlos René Gómez Pérez.
Ing. Marilene Álvarez Valdés.

Curso 2009-2010

CON SU ENTRAÑABLE TRANSPARENCIA



Índice

Capítulo I: Discos abrasivos. Materiales y Productores	10
1.1. Materiales empleados y algunas de sus propiedades	10
1.1.1. Materiales abrasivos	10
1.1.2. Tamaño de grano	16
1.1.3. Materiales aglutinantes	18
1.2. Procesos de fabricación de discos abrasivos	22
1.2.1. Moldes y su construcción	22
1.2.2. Etapas de elaboración	22
1.3. Procedimientos de evaluación de discos abrasivos	23
1.3.1. Ensayos de desgaste	23
1.3.2. Ensayos de abrasividad	24
1.3.3. Ensayos de rigidez	25
1.4. Conclusiones parciales	26
Capítulo II: Proceso de fabricación de discos abrasivos con materiales alternativos	27
2.1. Métodos de cuantificación y evaluación de la productividad	27
2.1.1. Ensayo de desgaste abrasivo	27
2.1.2. Ensayo de desgaste abrasivo	27
2.1.3. Determinación de la productividad	28
2.2. Elaboración de los moldes para la fabricación de discos abrasivos	29
2.2.1. Diseño del molde	29
2.2.2. Elaboración del molde	30
2.2.3. Comprobación de la factibilidad del molde	31
2.3. Metodología para la obtención de discos abrasivos a partir de una mezcla de arena sílice cemento P-350 y agua	32
2.4. Preparación de los materiales alternativos en la obtención de discos abrasivos	32
2.4.1. Trituración y tamización	32
2.4.2. Dosificación, mezclado y homogenización	33
2.4.3. Moldeo	34
2.4.4. Desmoldeo y airado	35
2.4.5. Curado	36
2.5. Planteamiento y desarrollo del plan experimental	36
2.6. Conclusiones parciales	39
Capítulo III: Análisis de la influencia de las materias primas en la fabricación y el desempeño de los discos abrasivos	40
3.1. Evaluación de la productividad de los discos abrasivos elaborados	40
3.1.1. Preparación de la instalación experimental	40
3.1.2. Desarrollo experimental	41
3.1.3. Descripción de los resultados	41
3.1.4. Análisis de los resultados	43
Consideraciones económicas durante la elaboración de los discos abrasivos	44
3.2. Conclusiones parciales	46
Conclusiones Generales	47
Recomendaciones	48
Referencias bibliográficas	49
Anexo	52

Resumen

El presente trabajo trata sobre la elaboración de discos abrasivos de corte, a partir de mezclas de cemento P-350 y agua, como aglutinante, y arena sílice, como abrasivo. Para ello, se obtienen distintos prototipos de discos (con espesores de 4 y 8 mm), reforzados exteriormente con fibras sintéticas. Resulta importante considerar la atención sobre un adecuado proceso de llenado del molde, combinado con una precisa colocación de la malla de fibra sintética, para lograr procesos de desmoldado, que garanticen la integridad física de los discos elaborados y su adecuado funcionamiento. Los discos obtenidos con mejores características se elaboran a partir de un mortero autofraguante de arena sílice (58,8 %) y cemento Portland P-350 (29,5 %) y agua (11,8 %). Esta variante posee una productividad en el desbaste de $2 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$, permitiendo un ahorro económico unitario de 2,85 CUC.

Palabras claves:

Abrasivos, discos abrasivos, disco de desbaste, limpieza de soldaduras

Abstract

This paper tries about the development of abrasive cutting discs, from mixtures of cement P-350 and water as a binder, and silica sand as abrasive. To do this, are obtained different prototypes of disks (with thicknesses of 4 and 8 mm), externally reinforced with synthetic fibres. It's important to consider adequate attention to the mold filling process, combined with a precise placement of synthetic mesh to achieve stripper processes that ensure the physical integrity of the discs produced and its proper functioning. The disks obtained with better features are made from a mortar auto-forging silica sand (58,8 %) and P-350 Portland cement (29,5 %) and water (11,8 %). This variant has a roughing productivity of $2 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$, allowing a unitary cost saving of 2,85 CUC.

Key word:

Abrasive, abrasive discs, grinding disc, cleaning welds

Introducción

La elaboración de piezas por soldadura o fundición, presupone en la mayoría de los casos, la culminación de su acabado o la corrección de defectos. Estas operaciones son imprescindibles, las cuales poseen como denominador común el uso de herramientas abrasivas.

El Centro de Investigación de Soldadura (CIS), de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV), tiene más de 20 años de fundado. Desde sus inicios trabaja en la obtención de materiales para soldar (electrodos y fundentes). Hasta la actualidad en el centro se ha diversificado la cantidad de tipos de materiales obtenidos. Esta diversificación responde, no solo a las satisfacciones del país, sino también a la problemática interna de dicho Centro, en cuanto a las potencialidades de su equipamiento, desarrollado para la obtención de los materiales, su estrategia investigativa y atendiendo a la problemática energética del país, necesaria a considerar también.

En Cuba, en los últimos años, se han desarrollado varias investigaciones para obtener herramientas abrasivas CIS (UCLV). Estas investigaciones han apuntado al desarrollo de muelas abrasivas cilíndricas, a partir de su sinterización [1], de muelas abrasivas planas [2] y de muelas abrasivas de vástago [3] estas dos últimas sin sinterización. El proceso de aglutinación sin sinterización se obtiene a partir del uso de mezclas de cemento y agua al 5 %, con el material abrasivo. En todos los casos se ha empleado como agente abrasivo escorias del producto de reducción aluminotérmica de pirolusita, ricas en corindón y galaxita [2].

Los discos abrasivos son herramientas imprescindibles en la reparación o saneamiento de piezas soldadas. Los discos que comúnmente se comercializan en el mercado internacional son discos sinterizados o aglutinados con resinas especiales. Estas tecnologías son altas consumidoras de energía o realizadas con productos especiales de importación, que dificultan su producción nacional, con la consiguiente erogación de divisas para adquirirlas [3].

Una alternativa sería aprovechar los resultados de las investigaciones del CIS, en la obtención de materiales abrasivos, utilizando como abrasivo la sílice en la formulación de

herramientas abrasivas, aglutinadas con mezclas de cemento y agua, para estudiar las potencialidades de fabricación de discos abrasivos para la limpieza de soldadura.

Para ello, es necesario diseñar y construir las herramientas indispensables para la elaboración de los discos abrasivos.

Las proporciones entre los componentes, así como su combinación con las especificidades de forma y dimensiones de los discos abrasivos hacen el estudio de obtención y evaluación un proceso interesante desde el punto de vista científico.

Problema científico

No se conoce de un procedimiento adecuado para la elaboración de discos abrasivos, a partir de sílice, como material abrasivo, y una mezcla de cemento P-350 y agua, como aglutinante.

Objeto de Investigación

Discos abrasivos y molde correspondiente para su fabricación.

Campo de Acción de la Investigación

Fabricación y recuperación de piezas y equipos. La investigación se relaciona con la industria metal-mecánica, con la elaboración de abrasivos, específicamente con la elaboración de discos abrasivos para el corte de piezas y el pulido de superficies, a partir de materias primas cubanas.

Hipótesis

El proceso de fraguado y curado de morteros abrasivos de mezclas de arena sílice, cemento P-350 y el agua puede ser empleado para fabricar discos abrasivos para el corte.

Novedad Científica

Metodología para la confección de discos abrasivos para la limpieza de soldaduras, a partir de la combinación de arena sílice, cemento Pórtland P-350 y agua.

Objetivo General

Fabricar discos abrasivos para la limpieza de soldaduras, empleando la combinación de materias primas cubanas compuesta por arena sílice, cemento Pórtland P-350 y agua, a partir del desarrollo de un diseño experimental de mezclas.

Objetivos específicos

1. Realizar un estudio documental sobre los tipos de abrasivos y aglutinantes más empleados en la elaboración de discos abrasivos, para demostrar la potencialidad del uso de las mezclas de arena sílice, cemento P-350 y agua en la elaboración de discos abrasivos.
2. Seleccionar el diseño experimental de mezclas adecuado para relacionar la composición de las mezclas de arena sílice, cemento P-350 y agua, con las propiedades abrasivas y de resistencia de los discos elaborados.
3. Diseñar un molde metálico, de una sola pieza, para la elaboración de discos abrasivos, a partir de morteros de arena sílice, cemento P-350 y agua.
4. Desarrollar los pasos tecnológicos para la obtención del disco abrasivo, según el diseño experimental.
5. Realizar una valoración económica de la producción de los discos abrasivos elaborados a partir de mezclas de arena sílice, cemento P-350 y agua y las potencialidades de su asimilación tecnológica en Cuba.

Tareas a desarrollar

1. Estudio documental sobre los tipos de abrasivos y aglutinantes más empleados en la elaboración de discos abrasivos.
2. Selección del diseño experimental de mezclas adecuado para relacionar la composición de las mezclas de arena sílice, cemento P-350 y agua.

3. Diseño y fabricación de un molde para la obtención de prototipos de discos abrasivos.
4. Elaborar la tecnología de fabricación de los discos abrasivos, mediante mezclas de arena sílice, cemento Pórtland P-350 y agua, con el molde construido.
5. Obtener prototipos de discos abrasivos, en función del diseño experimental y con el molde desarrollado.
6. Selección del mejor prototipo de disco y las recomendaciones para su empleo.
7. Evaluar la abrasividad de los prototipos de discos elaborados, acorde al diseño experimental.
8. Análisis de costos de producción de los discos abrasivos elaborados y de las potencialidades de su asimilación tecnológica en Cuba.

Beneficios Económicos

1. Abaratar el costo de los discos abrasivos en el mercado internacional, a costa del empleo de arena sílice como materia abrasiva, cemento como aglutinante y eliminación de procesos de sinterización.
2. Fomento de la industria local, con el desarrollo de talleres para la fabricación de discos abrasivos.
3. Generación de nuevos empleos de la fuerza laboral.
4. Ahorro de moneda libremente convertibles (CUC), por reducción de importación.
5. Potencialidad de estabilizar el suministro estable de discos abrasivos para operaciones de acabado a las empresas de mantenimiento y reparación.

Aportes Técnicos

1. Mezcla de arena sílice, cemento P-350 y agua para la obtención de discos abrasivos.
2. Molde para la elaboración de discos abrasivos, a partir del uso de cemento P-350 y agua, como aglutinantes.
3. Nueva cultura tecnológica en la fabricación nacional de discos abrasivos.

Aporte Metodológico

Metodología para la fabricación de discos abrasivos para la limpieza de soldaduras, a partir morteros autofraguantes compuestos de mezclas de arena sílice, cemento Pórtland P-350 y agua.

Aportes Científicos

El estudio de las proporciones entre los componentes de los discos abrasivos (arena sílice, cemento P-350 y agua) y su relación con las propiedades de desgaste y resistencia del disco abrasivo.

Diseño Metodológico de la Investigación

Métodos teóricos

El análisis y la síntesis. Se emplea el Análisis para descomponer el disco abrasivo en sus elementos constructivos (abrasivo y aglutinante) en sus partes y cualidades independientes, para el estudio de sus múltiples relaciones y propiedades. Se emplea la síntesis como operación inversa; es decir, la unión o combinación de la arena sílice y la mezcla aglutinante de cemento P-350 y agua (partes analizadas) para evaluar sus relaciones, características generales y leyes para demostrar el problema investigativo y sus relaciones con las propiedades de abrasividad y resistencia mecánica de los discos estudiados.

El método inductivo y deductivo. La inducción permite el paso del conocimiento de casos particulares de discos abrasivos elaborados y comercializados a nivel internacional a un conocimiento más general (componentes, proporciones entre estos, procesos de fabricación, etc.) empleado para generalizar las metodologías actuales de fabricación de discos abrasivos de forma tal, que permita comprobar la hipótesis. La deducción se emplea para, a través del estudio realizado, generalizar un procedimiento de obtención de discos abrasivos a partir de arena sílice, cemento P-350 y agua.

Métodos empíricos

La observación científica: Percepción directa, atenta, racional, planificada de los fenómenos objeto de estudio (proceso de llenado del molde, aglutinación, mediciones de abrasividad y resistencia de los discos), en sus condiciones naturales y habituales, con vista a encontrar una explicación. Se usa para obtener información primaria para establecer los criterios de selección de los discos abrasivos elaborados con mejores potencialidades para ser empleados en la industria metalmeccánica cubana.

El experimento se emplea para evaluar las potencialidades de abrasividad y resistencia mecánica de las variantes de discos empleados, para su posterior comparación.

Descripción estructural de los capítulos

La tesis está compuesta por tres capítulos. El Capítulo I (Discos abrasivos. Materiales y Productores) aborda los materiales empleados en la fabricación de discos abrasivos, los tipos de tamaño de grano y los materiales aglutinantes, específicamente el cemento Pórtland P-350. También aborda los procesos de fabricación de discos abrasivos, resaltando la construcción de los moldes. Otro aspecto tratado lo constituyen los procedimientos de evaluación de discos abrasivos.

El Capítulo II (Proceso de fabricación de discos abrasivos con materiales alternativos) aborda criterios sobre los métodos de cuantificación y evaluación de la productividad de los discos abrasivos, el ensayo de desgaste abrasivo, la preparación de los materiales para la obtención de discos abrasivos, la elaboración de los moldes para la fabricación de discos abrasivos y una metodología para la obtención de discos abrasivos a partir arena sílice, cemento P-350 y agua. Se plantea y desarrolla, además, el plan experimental para el estudio de formulaciones para la obtención de discos abrasivos.

El Capítulo III (Análisis de la influencia de las materias primas en la fabricación y el desempeño de los discos abrasivos) trata la evaluación de los resultados del estudio de productividad de los discos abrasivos elaborados y las consideraciones económicas durante la elaboración de discos abrasivos, a partir de arena sílice, cemento P-350 y agua. Se analizan algunas consideraciones económicas durante la fabricación de discos abrasivos, empleando morteros autofraguantes de mezclas de arena sílice, cemento Pórtland P-350 y agua.

Capítulo I: Discos abrasivos. Materiales y Productores

1.1. Materiales empleados y algunas de sus propiedades

1.1.1. Materiales abrasivos

a) Propiedades generales del material abrasivo

Dentro de las características más sobresalientes de los abrasivos se encuentra la dureza, la tenacidad y la friabilidad [3].

La **dureza** puede ser definida como la resistencia a la acción del rayado. Basada en este concepto fue creada la conocida escala Mohs (Tabla 1), ya mencionados, donde el mineral más blando, el talco, es rayado por todos los otros y el más duro es el diamante, que no es rayado por ninguno y raya todos los otros. Los escalones no tienen el mismo valor. Por ejemplo, la diferencia entre durezas 9 y 10 es mucho mayor que entre las durezas 1 y 2. El diamante es 140 veces más fuerte que el corindón. Cada número puede rayar todos los que tiene listados debajo.

Tabla 1: Escala de durezas de Mohs

Escala de Mohs	Minerales	Referencias aproximadas	Equivalencia aproximada a la escala Rockwell-C
10	Diamante	Diamante industrial (disco de diamante)	Diamante artificial
9	Corindón	Discos de lija de corindón, corundum (óxido de aluminio), carburo de tungsteno	Rubí
8	Topacio	Papel de lija de 7 a 9	Papel abrasivo
7	Cuarzo	El acero de una lima, 6, 5, arena de sílice de 6 a 7 , vidrio sin plomo 7	ACERO DE LIMA 72 Cuchillo de acero
6	Ortosa	El cristal, 5, 5, piedra pómez,	
5	Apatito	El acero de una navaja	Vidrio
4	Fluorita		Clavo de hierro
3	Calcita	Una moneda de cobre	Moneda de bronce
2	Yeso	La dureza de una uña, oro de 2, 5 a 3	Uña del dedo
1	Talco		Polvos de talco

La **tenacidad** es la capacidad que poseen los granos abrasivos de absorber energía, o sea, resistir a impactos bajo acción de los esfuerzos de choque sin perder el poder de corte. Por tanto, los granos que poseen esta característica son los indicados para las operaciones de elevadas presiones [4].

La **friabilidad** es la capacidad del grano de fracturarse durante la operación cuando este pierde el poder de corte, creando así, nuevas aristas de corte y obteniendo menor generación de calor. Por tanto, los granos que presentan esta característica son los indicados en operaciones, que requieren la integridad física de la pieza a trabajar.

Los materiales abrasivos pueden ser producidos para allanar, alisar o pulir mármol, piedra, granito, cerámica, vidrio, madera, acero y materiales varios, que precisen un acabado de sus superficies.

Cuando se habla o se piensa en el término “cerámica”, inmediatamente, se asocia a las artesanías, a la vajilla y a la porcelana. Sin embargo, dentro de los materiales de ingeniería las cerámicas o fases cerámicas abarcan una amplia variedad de sustancias. Para mencionar algunas: vidrio, ladrillos, piedra, concreto, porcelana esmaltada, materiales magnéticos no metálicos, refractarios y entre muchos otros los abrasivos.

Se puede decir que la clasificación de los materiales cerámicos es amplia, a tal punto que se incluyen no solamente los óxidos y silicatos, sino también todos los materiales inorgánicos no metálicos como los carburos duros.

La gran mayoría de los minerales cerámicos, al igual que los metales, tienen estructuras cristalinas. En estas están presentes elementos metálicos y no metálicos con enlaces covalentes ó iónicos.

Las cerámicas son estructuras, que no tienen muchos electrones libres, los cuales están compartidos covalentemente entre átomos adyacentes o bien son transferidos de un átomo a otro para dar un enlace iónico.

Estos tipos de enlaces son los que dan a los materiales cerámicos una alta estabilidad. La temperatura de fusión, como promedio, es más alta que la de los materiales metálicos u orgánicos. Son más resistentes a la alteración química. En general son malos conductores, tanto eléctricos, como térmicos.

Sus estructuras cristalinas son bastante complejas; lo cual, sumado a la mayor resistencia de sus enlaces químicos, hacen lentas a las reacciones químicas cerámicas.

Toda esta digresión conduce a tener presente los siguientes conceptos:

- Los abrasivos, como el SiC (carburo de silicio), el Al₂O₃ (óxido de aluminio – corindón) son compuestos cerámicos.
- Los materiales cerámicos son compuestos de metales y no metales.
- Las propiedades de los materiales cerámicos son producto de sus estructuras cristalinas.

Los abrasivos adheridos son fabricados incorporando granos abrasivos a una matriz, la cual puede ser resina y relleno o materiales vítreos. Usualmente, tales abrasivos contienen porosidad la cual ayuda a controlar los aspectos termales del proceso.

Los abrasivos revestidos consisten de granos abrasivos incorporados a un respaldo de tela.

La formulación y selección de aditivos es habitualmente un secreto estrictamente guardado del fabricante.

A fin de elegir la herramienta correcta, material y estructura, se deben formular varias preguntas:

1. Tipo de uso: corte, afilado, pulido, etc.
2. Tipo de artículo a afilar y materiales: pala de aleación de níquel, cilindro metálico, etc.
3. Tipo de grano abrasivo: óxido de aluminio, nitrito de boro, etc.
4. Tipo de propiedad física específica: poroso, compacto, etc.
5. Tipo de adhesión: vitrificada, resina, etc.
6. Tipo de proceso de fabricación.

En general los abrasivos están caracterizados por sus elevadas resistencias al corte, con lo cual no son dúctiles. Por ende, tienen:

- Altas durezas y resistencias a la compresión.
- Alta sensibilidad a las fisuras.
- Baja resistencias a la fractura.

b) Ejemplos de abrasivos

Para la fabricación de discos abrasivos se utiliza una gran variedad de materiales abrasivos, buscando siempre la mayor dureza y calidad del grano para lograr el funcionamiento correcto de la herramienta abrasiva.

Los materiales abrasivos son aquellos, productos químicos o naturales, cuya dureza es mayor que la del objeto a rayar. Estos pueden ser presentados en diferentes, formas, perfiles y dimensiones [5], por ejemplo, en forma de polvo, líquidos, mixtos, aglutinados con materiales de resinas sintéticas, aleaciones metálicas y/o montados en soportes flexibles, rígidos, oscilantes y/o giratorios.

A continuación se caracterizan algunos de los materiales abrasivos más utilizados a nivel industrial para la obtención de materiales abrasivos.

Carburo de Silicio

Es un mineral sintético de color negro brillante y de elevada dureza. Durante su uso se fractura en partículas de filosas aristas, que proporcionan una rápida y uniforme remoción del material. Este abrasivo es recomendado para el acabado de metales ferrosos, como el bronce, el cobre y el aluminio y de otros materiales, tales como el cuero, el vidrio, la madera, el hule y el plástico.

Óxido de Aluminio Especial

El óxido de aluminio especial es un mineral sintético basado en la fusión de óxido de aluminio de alta pureza, el cual ha sido tratado térmicamente a temperaturas muy elevadas, mejorando sustancialmente sus características de dureza y friabilidad. El desempeño del óxido de aluminio especial mantiene en sus aplicaciones, aristas cortantes, que trabajan a temperaturas menores. Su aplicación se recomienda para operaciones de lijado en materiales de alta resistencia a la tensión, como son: aceros, aceros inoxidable y bronce duros. También es muy efectivo para el desbaste de materiales de baja resistencia a la tensión, como aceros de bajo contenido de carbón, aluminio y bronce, resultando en tiempos de vida más prolongados y reduciendo los costos de lijado.

Óxido de Aluminio Blanco

Es un abrasivo sintético y durable, que se caracteriza por la larga vida de sus aristas filosas, recomendado para el lijado de maderas duras, así como en la industria maderera en general.

Óxido de Aluminio Café

Este grano abrasivo está formado por cristales de gran tamaño. Se caracteriza por sus aristas duras, filosas y tenaces; se usa para el lijado y pulido de materiales de alta resistencia a la presión, tales como aceros al carbono, aceros inoxidable, bronce duros, etc.

Existen diferentes tipos de abrasivos, entre ellos los naturales, que son los que se utilizan, tal y como se encuentran en la corteza terrestre con ciertos procesamientos de molienda, clasificación granulométrica, recubrimientos especiales o fijación sobre soportes adecuados. También están los abrasivos artificiales, que se han desarrollado principalmente en las últimas décadas, los que han sustituido en parte a los naturales, abriendo nuevas posibilidades de aplicación, en especial los denominados super-abrasivos [3]

Dentro del grupo de materiales abrasivos de ingeniería, uno de los más importantes que se pueden encontrar, es el de las cerámicas o fases cerámicas, que abarcan una amplia variedad de sustancias. Para mencionar algunas están: el vidrio, los ladrillos, el concreto, la porcelana esmaltada, los materiales magnéticos no metálicos, los refractarios y entre muchos otros abrasivos.

Algunas cualidades físicas de los materiales abrasivos más importantes se encuentran resumidas en la Tabla 2.

Tabla 2: Propiedades de algunos abrasivos

Propiedad	Óxido de Aluminio	Carburo de Silicio	Nitrito de Boro	Diamante
Estructura del Cristal	Hexagonal	Hexagonal	Cúbica	Cúbica
Densidad ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	3,98	3,22	3,48	3,52
Punto de Fundición (C)	2040	~2830	~3200	~3700
Dureza Knoop ($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-2}$)	2100	2400	4700	8000

c) Propiedades de la Sílice

El silicio constituye un 28 % de la corteza terrestre. No existe en estado libre, sino que se encuentra en forma de dióxido de silicio y de silicatos complejos. Los minerales que contienen silicio constituyen cerca del 40 % de todos los minerales comunes, incluyendo más del 90% de los minerales que forman rocas volcánicas. El mineral cuarzo, sus variedades (cornalina, crisoprasa, ónice, pedernal y jaspe) y los minerales cristobalita y tridimita son las formas cristalinas del silicio existentes en la naturaleza. El dióxido de silicio es el componente principal de la arena. Los silicatos (en concreto los de aluminio, calcio y magnesio) son los componentes principales de las arcillas, el suelo y las rocas, en forma de feldespatos, anfíboles, piroxenos, micas y zeolitas, y de piedras semipreciosas como el olivino, granate, zircón, topacio y turmalina.

La arena sílice, químicamente se nombra Sílice Cristalina (Cuarzo), cuyos sinónimos son: Arena, Cuarzo, Sílice Cristalina, Sílex, Sílice Molida.

Las características de pureza, inercia, dureza, resistencia a altas temperaturas, granulometría, forma, distribución y color son de importancia crítica para una variedad de aplicaciones industriales. La arena es extremadamente dura porque tiene un alto porcentaje de cuarzo.

Las propiedades del cuarzo son intermedias entre las del carbono y el germanio. En forma cristalina es muy duro y poco soluble y presenta un brillo metálico y color grisáceo. Aunque es un elemento relativamente inerte y resiste la acción de la mayoría de los ácidos, reacciona con los halógenos y álcalis diluidos.

Se prepara en forma de polvo amorfo amarillo pardo o de cristales negros-grisáceos. Se obtiene calentando sílice, o dióxido de silicio (SiO_2), con un agente reductor, como carbono o magnesio, en un horno eléctrico. El silicio cristalino tiene una dureza de 7, suficiente para rayar el vidrio, de dureza de 5 a 7. El silicio tiene un punto de fusión de $1410\text{ }^\circ\text{C}$, un punto de ebullición de $2.355\text{ }^\circ\text{C}$ y una densidad relativa de 2,33. Su masa atómica es de $28,086\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ [6, 7].

1.1.2. Tamaño de grano

Además de la naturaleza química y cristalográfica, también es de suma importancia el tamaño de grano, también conocido como la distribución de los tamaños de grano en el disco.

Los granos abrasivos son la herramienta de los procesos de afilado y de corte. Es lógico pensar que no se preparan polvos, cuyos tamaños de grano tengan una misma forma y tamaño. Por ejemplo, que sean exactamente iguales. Por el contrario, cada polvo está constituido por granos, cuyos tamaños y formas se extienden en magnitudes relativamente amplias.

En general, para todos los métodos de determinación o indicación de tamaño de grano se admite para los mismos una forma aproximadamente esférica, con lo cual es común ver que se hable de diámetro equivalente.

Para los polvos obtenidos mecánicamente, si se observan en el microscopio, tienen formas muy irregulares y angulosas.

De todos los métodos para determinar el tamaño de grano, el que resulta directo, aunque muy laborioso es el examen microscópico. Este determina el tamaño real de los granos y del número de granos en una determinada magnitud. Pero este método resultaría antieconómico para ser empleado a nivel industrial, por lo que solo se emplea como método de control, junto a otros.

Los métodos indirectos se basan, parcialmente, en la determinación de la superficie total en un polvo (absorción de sustancias colorantes ó velocidad de disolución) y, en parte, en la velocidad de caída de los granos en el seno de un líquido o en un gas. Estos solventes, pueden estar en reposo o moverse en sentido opuesto a la dirección de caída (sedimentación).

Mientras la determinación de la superficie total arroja un valor medio del tamaño de grano, el análisis por sedimentación permite abarcar el total de la distribución de tamaños de granos. A su vez, permite dividir al polvo en fracciones y, por su tamaño, deducir la composición de los mismos.

El tamaño de grano usualmente se determina por el procesamiento estadístico de un análisis de distribución granulométrica, atendiendo a estándares. La media, mediana y

curtosis, son parámetros estadísticos que se emplean para el estudio de distribuciones de clases de granos.

Los granos abrasivos de minerales triturados, calcinaciones, reacciones químicas, etc. se clasifican de acuerdo a su tamaño de grano. Es a partir de dicho tamaño que se define su granulometría [8].

Probablemente la propiedad más importante es la granulometría. Esta mide el tamaño del grano, basada en la determinación inversa del tamaño del grano. De esta manera cuanto mayor es la numeración, tanto menor será el tamaño del grano.

De esta forma puede usarse la siguiente relación entre aplicación y granulometría [9].

Desbaste Pesado: Granos 36, 40 y 50

Desbaste Leve: Granos 60, 80 y 100

Semi-acabado: Granos 120, 150 y 180

Acabado: Granos 220, 240, 280 y 320

Pulido: Granos: 360, 400, 500, 600, 800

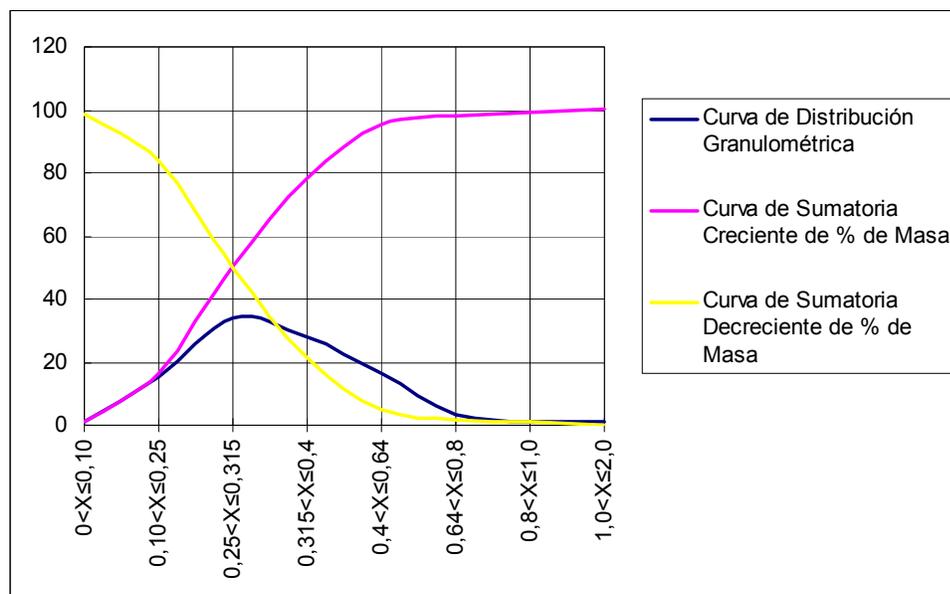


Figura 1: Curva de distribución granulométrica y sumatorias de masas ascendente y descendente de la arena sílice empleada para la confección de los discos abrasivos

En el pasado los granos abrasivos eran derivados de minerales naturales, tal como el esmeril, arena de cuarzo, etc., en la actualidad, la industria depende casi completamente de granos sintéticos, los cuales resultan mucho más consistentes y eficientes al costo.

En el caso de la experimentación, se emplea una arena con una distribución granulométrica normal o Gaussiana (Figura 1), que se corresponde con un tamaño de grano para desbaste pesado [3].

1.1.3. Materiales aglutinantes

Los aglutinantes o aglomerantes son los diferentes materiales adherentes, que se mezclan con los granos y polvos abrasivos para constituir la masa, que formará el disco abrasivo [10].

En la fabricación y elaboración de herramientas abrasivas los aglutinantes, constituyen la formulación de la mezcla para cumplir las propiedades, parámetros y exigencias establecidos para el uso y aplicación de los discos abrasivos. Para esto se usan aglutinantes que se funden a baja o alta temperatura.

Para fabricar los discos abrasivos se emplean dos grupos de aglutinantes fundamentales: inorgánicos (de cerámica) y orgánicos (de baquelita y vulcanita).

A nivel mundial el uso de resinas es lo más común para la fabricación de discos abrasivos, siendo utilizada como aglutinante. De forma general una resina es cualquiera de las sustancias de secreción de las plantas con aspecto y propiedades más o menos análogas a las de los productos así denominados. Se puede considerar como resina las sustancias que sufren un proceso de polimerización o secado dando lugar a productos sólidos siendo en primer lugar líquidas [11, 12].

Clasificación de las resinas:

- Resinas naturales
 - resina verdadera
 - gomorresinas
 - oleorresinas
 - bálsamos

- lactorresinas
- Resinas sintéticas
 - poliéster
 - poliuretano
 - resina epoxi
 - acrílicos
 - viniléster
 - composites

En la industria son utilizados varios tipos de resinas, en dependencia de la aplicación del disco abrasivo [13].

Resinas empleadas para elaborar los discos de corte [14, 15]:

CR-2611: Resina fenólica en polvo indicada para la fabricación de discos de corte. Posee alta versatilidad de aplicación en discos con tamaños y espesores diferentes.

CR-2371: Resina fenólica en polvo indicada para la fabricación de discos de corte utilizados con líquidos refrigerantes.

CR-2001: Resina fenólica en polvo modificada con epoxi utilizada en discos de corte, donde se requiere una adhesión fuerte de los granos abrasivos y elevada flexibilidad.

CR-2011: Resina fenólica en polvo modificada con epoxi y alto porcentaje de hexa indicada para la producción de discos de corte de alta dureza y flexibilidad.

CR-2830: Resina fenólica líquida indicada como agente de humectación en la fabricación de discos de corte.

Resinas empleadas para elaborar los discos de desbaste:

CR-2001: Resina fenólica en polvo modificada con epoxi utilizada para discos de desbaste donde se requiere una adhesión fuerte de los granos abrasivos y elevada flexibilidad.

CR-2011: Resina fenólica en polvo modificada con epoxi y alto porcentaje de hexa indicada para la producción de discos de desbaste de alta dureza y flexibilidad.

CR-2811: Resina fenólica en polvo con elevado porcentaje de hexa indicada para la fabricación de discos de desbaste de alta dureza.

CR-2830: Resina fenólica líquida indicada como agente de humectación en la fabricación de discos de desbaste.

El Cemento Pórtland P-350 (aglutinante)

El cemento como producto es un conglomerante hidráulico que, mezclado con agregados pétreos (árido grueso o grava, más árido fino o arena) y agua, crea una mezcla uniforme, manejable y plástica capaz de fraguar y endurecer al reaccionar con el agua y adquiriendo por ello consistencia pétreo, el hormigón o concreto. Su uso está muy generalizado, siendo su principal función la de aglutinante.

Existen diversos tipos de cemento, diferentes por su composición, por sus propiedades de resistencia y durabilidad y, por lo tanto, por sus destinos y usos.

Desde el punto de vista químico se trata en general de una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, obtenidos a través de la calcinación de carbonatos, arcilla y arena. El material obtenido, molido muy finamente, una vez que se mezcla con agua se hidrata y solidifica progresivamente. Puesto que la composición química de los cementos es compleja, se utilizan terminologías específicas para definir las composiciones.

Cuando el cemento Portland es mezclado con el agua, se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes, que solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período de varias semanas, hasta adquirir su resistencia característica.

El cemento Portland es el tipo de aglutinante más utilizado para la preparación del hormigón o concreto. Fue inventado en 1824 en Inglaterra por el albañil Joseph Aspdin. El

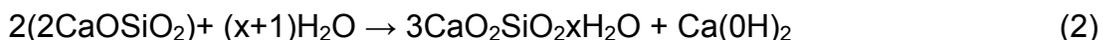
nombre se debe a la semejanza en su aspecto con las rocas encontradas en Portland, una isla del condado de Dorset.

Las materias primas para la producción del cemento Portland P-350 son minerales que contienen óxido de calcio (44 %), óxido de silicio (14,5 %), óxido de aluminio (3,5 %), óxido de hierro (3 %) y óxido de magnesio (1,6 %).

El cemento obtenido tiene una composición formada por: 64 % óxido de calcio; 21 % óxido de silicio; 5,5 % óxido de aluminio; 4,5 % óxido de hierro; 2,4 % óxido de magnesio; 1,6 % sulfatos y 1 % otros materiales, entre los cuales se encuentra principalmente el agua.

Cuando el cemento Portland P-350 es mezclado con el agua, el producto solidifica en menos de una hora (45 min.) y endurece progresivamente durante un período de varias semanas. El endurecimiento inicial es producido por la reacción del agua, yeso y aluminato tricálcico, formando una estructura cristalina de calcio-aluminio-hidrato, estringita y monosulfato. El sucesivo endurecimiento y el desarrollo de fuerzas internas de tensión derivan de la reacción más lenta del agua con el silicato de tricalcio formando una estructura amorfa llamada calcio-silicato-hidrato. En ambos casos, las estructuras que se forman envuelven y fijan los granos de los materiales presentes en la mezcla. Una última reacción produce el gel de silicio (SiO_2). Las tres reacciones generan calor (exotérmicas).

Las reacciones de hidratación, que forman el proceso de fraguado son:



Estas reacciones son todas exotérmicas. La más exotérmica es la hidratación de $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$, seguida de la de 3CaOSiO_2 , y luego $4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$ y finalmente 2CaOSiO_2 [16].

La calidad del cemento Portland deberá estar de acuerdo con la norma ASTM C 150.

1.2. Procesos de fabricación de discos abrasivos

1.2.1. Moldes y su construcción

Los moldes se fabrican a partir de un material metálico con una configuración prefijada o a partir de moldes fabricados de cerámicas. Los primeros se elaboran a partir del proceso de corte del material, utilizando las operaciones de maquinado. Los segundos se realizan a partir del llenado del molde metálico, obtenido con distintos diámetros, a partir de procesos de extrusión de la resina sintética, moviéndola desde la superficie hasta el núcleo metálico. De acuerdo con este método, la adherencia de la resina sintética al metal del molde puede conseguirse con fiabilidad, siendo este método de alta productividad [17].

1.2.2. Etapas de elaboración

La elaboración convencional de artículos abrasivos consiste en combinar un componente abrasivo y otro adhesivo con resina basada en fenol. La mezcla obtenida se moldea y se trata térmicamente, produciéndose así el artículo abrasivo [18, 19].

El proceso de tratamiento térmico se compone de varias etapas, atendiendo a las necesidades de extraer distintos tipos de agua (ordinaria, de constitución, estructural o zeolítica), que se encuentran generalmente formando parte de los aglutinantes [18].

El grano abrasivo opcionalmente puede combinarse primero con un compuesto de organo-silícico [17], (o pegamentos artificiales como el silicato de sodio para formar una mezcla endurecible en frío [19]), y luego con el componente de resina basada en fenol [18] (también se han usado aluminosilicatos sinterizables a relativamente bajas temperaturas [19]).

1.3. Procedimientos de evaluación de discos abrasivos

1.3.1. Ensayos de desgaste

El desgaste es un proceso complejo que se produce en las superficies de los cuerpos sólidos debido a la fricción de otro cuerpo o medio; trayendo por consecuencia la variación de la macro y micro geometría superficial; de la estructura; y de las propiedades de las capas superficiales, con o sin pérdidas de material.

Las altas tensiones, que surgen en las áreas reales de contacto y la temperatura, que producto de la fricción se genera predefinen, para cualquier par tribológico, los siguientes mecanismos básicos de enlace (agarre) superficial: Mecánico, Térmico, Químico, y adhesivo (Figura 2).

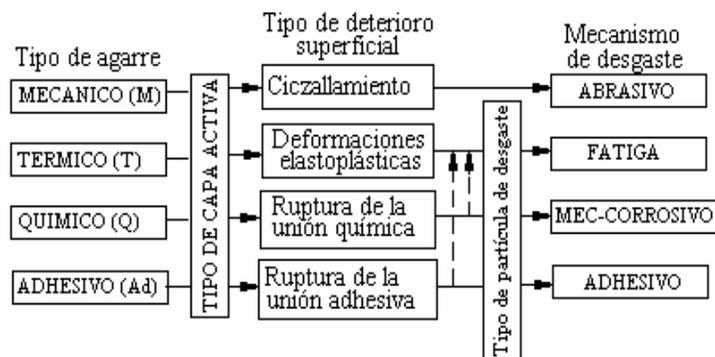


Figura 2: Relación entre el tipo de agarre y el mecanismo de desgaste

La determinación cuantitativa del desgaste ha sido de interés para la mayoría de los tribólogos de diferentes épocas, ya que ello permitiría incorporar a los cálculos de diseño el efecto de la fricción y el desgaste. Sin embargo, este es un problema no resuelto en la actualidad, debido en lo fundamental, a que sobre ambos influyen toda una serie de factores relacionados con las condiciones de explotación, la naturaleza de los cuerpos en contacto y las condiciones del medio.

Los avances alcanzados por la tribología han establecido determinados parámetros que caracterizan al desgaste. Estos parámetros se reconocen como indicadores del desgaste

y permiten evaluar, estudiar, caracterizar y diagnosticar el desgaste. En dependencia del método empleado para la determinación de los valores absolutos del desgaste el mismo puede ser: Lineal (W_h), gravimétrico (W_g) o volumétrico (W_v).

El desgaste de los elementos de máquinas se produce con o sin pérdida de material, es por ello que la evaluación de la magnitud del mismo se puede cuantificar o expresar por diferentes indicadores [20, 21]:

1. Desgaste lineal (W_h , μm).
2. Desgaste volumétrico (W_v , mm^3).
3. Desgaste gravimétrico (W_g , mg).
4. Resistencia al desgaste (W_d).
5. Resistencia relativa al desgaste (W_r).
6. Velocidad o razón de desgaste (W'):

1.3.2. Ensayos de abrasividad

Este consiste en introducir el vástago de cada muela abrasiva en el usillo de una mini taladradora haciéndola girar a 3000 rpm y hacer incidir sobre las muelas una probeta de acero AISI-1020. Este ensayo se basa en la relación de pérdida de masa de las muelas y de las probetas, para ver cual de los prototipos de las muelas abrasivas es el más abrasivo.

Según la bibliografía especializada [22], los ensayos se deben realizarse en las condiciones siguientes:

- Por parte de los fabricantes antes de su entrega.
- Cuando las herramientas hayan sido sometidas a tratamientos químicos, térmicos o mecánicos.
- Se realizarán en bancos especiales instalados sobre fundamentos provistos de una cámara aislada, que ofrezca seguridad en caso de rotura de la herramienta.

- En el local donde se haga el ensayo se fijará una detallada instrucción para la ejecución del mismo. No se permitirá la realización de otros trabajos paralelamente no relacionados con la preparación y ejecución del ensayo [3].

1.3.3. Ensayos de rigidez

Este ensayo se basa en someter los discos abrasivos a velocidades superiores, a las permitidas para su explotación; tiene como duración no menos de 7 minutos, para los discos.

En algunos casos se permite reducir el tiempo hasta un 33 %, como por ejemplo, para discos, cuyas velocidades periféricas de trabajo no excedan de $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y para otros donde el aglutinante sea baquelita y la velocidad de trabajo no exceda los $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

No será necesario someter al ensayo de rigidez, si la muela contiene aglutinante vitrificado u orgánico, siempre que sus velocidades periféricas de trabajo no sean mayores que $25 - 30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ [22].

1.4. Conclusiones parciales

1. Se ha demostrado la posibilidad del empleo de mezclas de cemento Pórtland P-350 y agua como aglutinante de morteros cerámicos, empleados en la elaboración de pequeñas herramientas abrasivas con vástago y de piedras de esmeril para el pulimento de piso; sin embargo, no ha sido demostrada su efectividad en la fabricación de discos abrasivos, debido a su endeble geometría y complejo régimen de trabajo.
2. Los ensayos realizados a los discos abrasivos son los mismos aplicados a las muelas abrasivas cilíndricas y a las muelas abrasivas sobre vástago, dentro de los cuales se encuentran los de desgaste y el de rigidez, que dependen de la velocidad periférica de la herramienta abrasiva y del tipo de aglutinante empleado en su fabricación.
3. Dentro de los parámetros fundamentales a considerar, para la fabricación clásica de herramientas abrasivas, se encuentran: la relación porcentual entre los componentes y su tiempo de permanencia, así como las temperaturas de los procesos de sinterización. Tanto para la obtención de limas de mano como muelas abrasivas de vástago, con cemento Pórtland P-350, se reconoce como aspecto fundamental las proporciones entre los componentes y el tiempo de curado. Sin embargo, no se conoce cuáles serían y como se comportan para la obtención de discos abrasivos, a partir de una mezcla de arena sílice, cemento Pórtland P-350 y agua.

Capítulo II: Proceso de fabricación de discos abrasivos con materiales alternativos

2.1. Métodos de cuantificación y evaluación de la productividad

2.1.1. Ensayo de desgaste abrasivo

2.1.2. Ensayo de desgaste abrasivo

El ensayo de desgaste abrasivo o de abrasividad (Figura 2.1) consiste en la determinación del desgaste relativo (DR) entre los cuerpos en contacto (disco abrasivo (1) y probeta de metal (2)). La instrumentación consta de un dispositivo rotatorio (3) en el cual se coloca el disco abrasivo (1). La velocidad de rotación (V_r , en rpm) se determina en función del tipo de trabajo a realizar (desbaste, corte o pulido), de acuerdo a normas [22]. La carga de aproximación entre el disco abrasivo (1) y la probeta de metal (2) se establece mediante un dispositivo (4) de palanca (manivela de un taladro vertical), el cual hace incidir el esfuerzo de contacto de forma perpendicular al borde del disco (Figura 2.1).

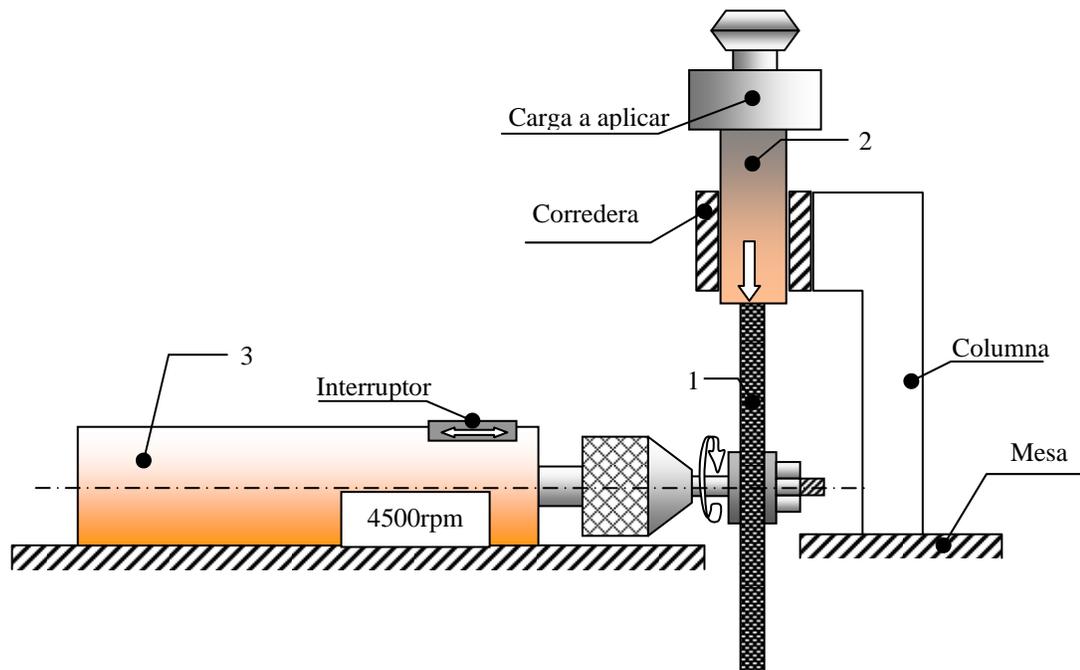


Figura 2.1 : Instalación para la realización del ensayo de abrasividad [3].

Durante el ensayo se debe mantener inmóvil la probeta de acero. La muela abrasiva se hace rotar a 4500 rpm en una pulidora eléctrica manual. Al ponerse en contacto la probeta metálica con el disco abrasivo, por la acción de la fricción relativa, se produce una pérdida de masa en ambas partes, dado por un desprendimiento de partículas. Por diferencia de peso se determina cuál es la magnitud del desgaste en ambos cuerpos. Para la comparación de ambos desgastes se introduce el término de desgaste relativo (Ecuación 6) [3].

$$DR = \frac{\Delta_M}{\Delta_P} \cdot 100 \quad (6)$$

Donde:

Δ_M : Diferencia de peso del disco abrasivo antes del ensayo y después del ensayo

Δ_P : Diferencia de peso entre la probeta de acero antes del ensayo y después del ensayo

Este índice de desgaste relativo permite establecer un criterio de cuál es el punto de mejores condiciones abrasivas y, por tanto, poder seleccionar la mejor composición del disco abrasivo. El tiempo de duración de este ensayo debe ser de 10 min para cada experimento.

2.1.3. Determinación de la productividad

La productividad de corte o de desbaste de un disco abrasivo puede expresarse por la relación entre la cantidad de metal retirado en un tiempo determinado, por lo que suele expresarse en unidades de volumen y tiempo ($\text{mm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$) o de masa y tiempo ($\text{g} \cdot \text{min}^{-1}$).

Durante el ensayo de abrasividad, además debe tomarse el tiempo de contacto entre la probeta de acero y el disco abrasivo. Empleando los datos de diferencias de peso adquiridas para evaluar el ensayo de abrasividad y el tiempo medido, puede, entonces, estimarse las diferencias en productividades entre los diferentes puntos experimentales evaluados.

2.2. Elaboración de los moldes para la fabricación de discos abrasivos

2.2.1. Diseño del molde

Propuesta de molde para la obtención de un disco abrasivo

El diseño de moldes para la obtención de piezas por fundición tiene en cuenta aspectos, tales como: coeficientes de dilatación, temperaturas de la aleación, complejidad de las piezas, etc.

En el caso de la obtención de moldes para morteros de cemento, que se obtienen por fraguado a temperatura ambiente, es necesario considerar dos aspectos claves:

- a) La configuración de la pieza
- a) El coeficiente de contracción durante el fraguado.

La configuración de la pieza repercute en decisiones, tales como: la ubicación de los planos divisores y los ángulos para la extracción de la pieza, mientras que el coeficiente de contracción influye en la calidad superficial durante la extracción de la pieza del molde.

La fabricación de piezas planas y delgadas, que serán sometidas a regímenes intensos de trabajo (altas velocidades de rotación, > 3000 rpm, y cargas radiales) requieren de altos niveles de precisión. Luego, en el diseño de un molde para la fabricación de herramientas abrasivas, específicamente discos de desbaste para soldaduras, se requiere atender a fuertes exigencias de forma y precisión. Cualquier variación en estas dos propiedades dimensionales del producto fabricado, puede crear daños extremos durante su explotación.

Para llegar a la conformación del molde, es necesario considerar criterios de fundición, tal como el ángulo de salida, que permitirá la extracción del disco del molde [23], una vez fraguado.

2.2.2. Elaboración del molde

Las dimensiones se toman en base a las ya existentes de otros discos, ya elaborados y puestos probados (discos comerciales). Para este caso se utiliza como referencia el disco más pequeño comercializado por la empresa Norton, el cual mide 115 mm de diámetro exterior, 22 mm de diámetro interior y 8 mm de espesor, destinado al desbaste. Atendiendo a estas exigencias se propone un dispositivo circular (Figura 1, del anexo), elaborado con acero AISI 1010 (Tabla 2.1), cuyas dimensiones (Figura 2.2) máximas (diámetro interior de 115, diámetro exterior de 150 mm y alto de 14 mm), con la rigidez necesaria para garantizar la obtención de discos abrasivos para la limpieza de soldaduras, a partir de mezclas de cemento, agua y arena sílice.

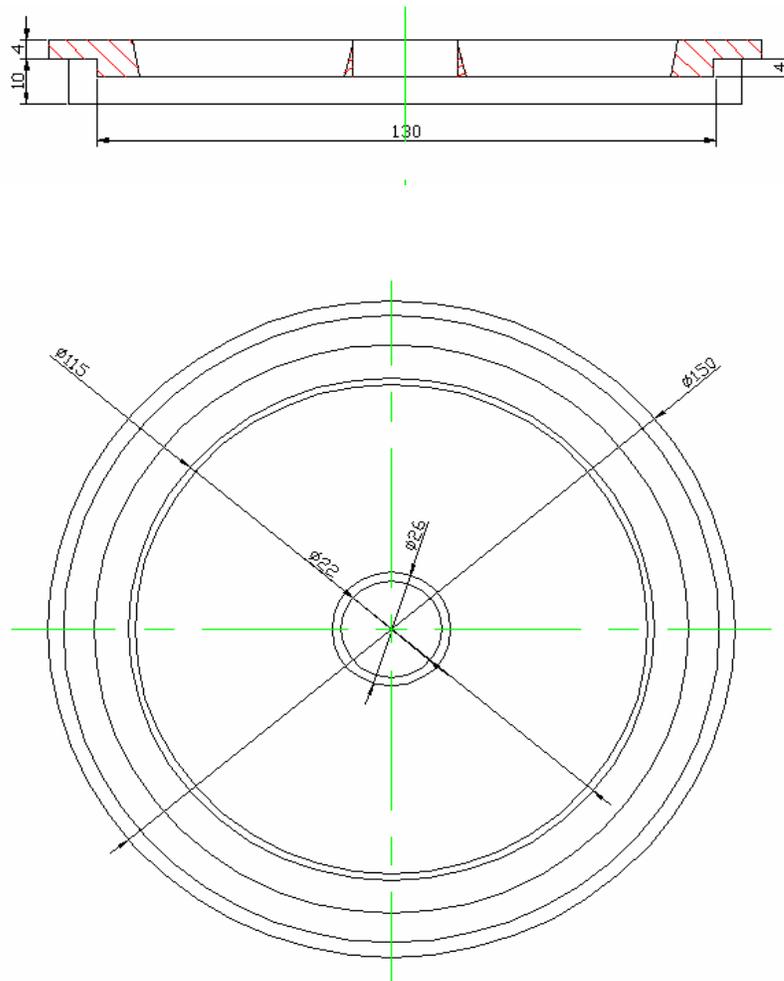


Figura 2.2: Molde ensamblado. Vistas principales en 2D

Tabla 2.1 Propiedades Mecánicas del acero AISI 1010

Tensión Máxima (Tensile strength) (MPa)	365
Límite de fluencia (Yield strength) (MPa)	305
Elongación (Elongation) (%)	20

2.2.3. Comprobación de la factibilidad del molde

La factibilidad es el término empleado en el presente trabajo para definir algunas cualidades del molde (ligereza, alimentación, copiado, desmoldeabilidad, entre otras), que confieren propiedades adecuadas para cumplir si fin.

La ligereza se refiere a la propiedad que le permite al molde ser manipulado, sin reproducir agotamiento físico en los operarios. La capacidad de alimentación se refiere a la facilidad de suministrar el producto, su compactación y enrasado. La capacidad de copiado se refiere a la factibilidad de reproducir la forma del producto a obtener. La desmoldeabilidad se define como la facilidad de desmoldar el producto elaborado, sin dañar sus partes, ni deteriorar su forma. Como otros factores se incluyen su posibilidad de reproducción y adecuaciones a producciones de medianas y de grandes series.

Un análisis de la factibilidad del molde revela su potencialidad para pequeñas y medianas producciones de discos abrasivos, a partir de cemento P-350, arena sílice y agua. Se ha constatado, a través de la actividad experimental desarrollada en el presente trabajo, que el molde metálico solidario diseñado cumple con todas las exigencias geométricas y de manipulación, que exige el disco abrasivo para su correcta elaboración, así como su correcto funcionamiento. El material (acero AISI 1010) es muy común, con el costo más económico y relativamente fácil de adquirir en el mercado, tanto nacional como internacional. Como inconvenientes en la utilización de este molde se encuentra la necesidad de emplear múltiples especímenes para una producción seriada, puesto que el tiempo de fraguado transcurre desde 48 horas hasta 72 horas. Otro inconveniente es la inclusión de materiales adicionales o accesorios, como placas de acetato en función de interfase que permita garantizar la extracción del disco del interior del molde y garantizar adecuado acabado de sus dos caras laterales.

2.3. Metodología para la obtención de discos abrasivos a partir de una mezcla de arena sílice cemento P-350 y agua

La metodología cuenta con 6 etapas esenciales para la elaboración de discos abrasivos.

- 1- Preparación de los materiales alternativos
- 2- Dosificación, mezclado y homogenización
- 3- Moldeo
- 4- Desmoldeo
- 5- Airado
- 6- Curado

2.4. Preparación de los materiales alternativos en la obtención de discos abrasivos

2.4.1. Trituración y tamización

El tamaño de grano se prepara en polvos, cuyos granos tengan una misma forma y tamaño. Por ejemplo, que sean exactamente del mismo diámetro promedio. Por el contrario, cada polvo está constituido por granos, cuyos tamaños se extienden en magnitudes relativamente amplias; es decir en un rango o clase granulométrica específica.

Para la clasificación de estos granos puede emplearse el método de tamizado, método normalizado, que en la industria es muy empleado. Los tamices se comercializan en juegos [24], y se trabajan en una tamizadora [25], pudiéndose definir el tamaño del grano entre un valor mínimo y uno máximo, según la granulometría con la que se quiere trabajar [26].

Como ha podido apreciarse cada medida de malla tiene un equivalente de designación; es decir, a medida que el número de la malla es más bajo, el tamaño del grano del material es más grueso.

La primera etapa, que es el **tratamiento de las materias primas**, consiste en la trituración, tamización, y almacenamiento de las materias primas, hasta la fecha de ensayo experimental. La **trituration** se realiza en un molino de bolas, hasta tamaños, aproximadamente, de grano promedio de la clase requerida, en lotes independientes,

para evitar la pérdida de material por sobre trituración. El abrasivo triturado y tamizado es homogenizado durante 20 minutos en una mezcladora homogenizadora húngara modelo Tabor. La forma inclinada de operación de la mezcladora permite la homogenización de tamaños y composiciones químicas de granos diferentes dentro de la masa total de abrasivo tratada.

2.4.2. Dosificación, mezclado y homogenización

La **dosificación** se realiza empleando una balanza digital, con precisión hasta las milésimas de gramo. El mezclado se realiza a mano y en dos etapas, para cada disco abrasivo primero se mezcla la porción de abrasivo (Arena sílice) con la de cemento P-350, después de estar bien mezclados se le añade la cantidad necesaria de agua, formándose una mezcla húmeda que será vertida posteriormente en el molde.

El **mezclado** se realiza a mano en dos etapas para cada disco que se prepare, empleando una cucharilla dentro de un mortero de ágata, evitando incorporación a la mezcla del material del recipiente.

Primeramente se mezclan durante 2 minutos los materiales secos (cemento y arena de sílice); posteriormente se adiciona el agua y se mezclan nuevamente durante 3 minutos, hasta preparar el mortero.

El abrasivo (arena sílice) triturado y tamizado es **homogenizado** durante 20 minutos en una mezcladora homogenizadora. La forma inclinada de operación de la mezcladora permite la homogenización de tamaños y composiciones químicas de granos diferentes dentro de la masa total de abrasivo tratada. Aún cuando el abrasivo vítreo (arena sílice) empleado (Epígrafe 2.1) no es potencialmente higroscópica, se almacena en un recipiente cerrado, para que el agua potencialmente adherida a la superficie no pueda alterar la relación agua cemento establecida para cada punto experimental. La homogenización se realiza igualmente para toda la mezcla preparada

2.4.3. Moldeo

Para proceder el **moldeo**, es necesario conocer que el molde empleado es desarmable, metálico y tiene que garantizar la homogeneidad y coaxialidad en el disco al extraerlo, por lo que, antes de verter la mezcla en la cavidad del molde, es preciso elaborar una plantilla fina y plana que puede ser con placas de acetato, la cual no permitirá que el fondo del molde se humedezca y se facilite el proceso de extracción del disco del molde. Además, antes de verter la mezcla, es necesario colocar sobre la placa una malla bañada en una solución rica de agua y cemento, esto es para lograr que esta maya se adhiera a la cara del disco y garantice a su vez la rigidez del mismo. Colocados estos dos dispositivos se procede a verter la mezcla aplicándole una pequeña fuerza, se enraza y se elimina el excedente, se coloca en la nueva cara formada la otra maya, también sometida al mismo proceso que la maya inferior, se coloca el molde sobre la tablilla y se invierte, dejándolo reposar por aproximadamente dos días (48 horas) para luego proceder a su extracción.

Se emplean diversos materiales para la extracción del disco del molde. Como primera experiencia se utiliza papel en el fondo, pero éste al hacer contacto con el agua se humedece completamente y adhiere al molde. Como segunda experiencia, se procede a aplicar una fina capa de cal o polvo de tiza, pero no resulta exitosa la experiencia, al presentar problemas al extraer el disco. Como tercera variante, se emplea nylon delgado, notándose que el disco se extrae sin dificultad, pero en la cara que queda en el fondo del molde se aprecian desperfectos (ondulaciones). Solo mediante el uso de una lámina de acetato plano se atenúa este defecto.

Para realizar el moldeo se coloca el molde metálico sobre la mesa de trabajo; sobre éste y dentro del molde, se inserta una interfase de celulosa. Se vierte el mortero preparado sobre la interfase, cuidando de que, al llenar toda la capacidad del molde, copie fielmente sus dimensiones. El mortero se comprime con una fuerza de 100 N (10 kg, aproximadamente) y se enraza posteriormente.

2.4.4. Desmoldeo y airado

El **desmoldeo** es complejo, ya que el molde no es desarmable y la mezcla se puede quedar adherida a las paredes y el fondo del molde. Por eso, es que se utilizan criterios de fundición, tales como aplicar un ángulo de salida a la pared interior y exterior del molde, que garanticen la salida del disco. En la práctica se demuestra que este ángulo de salida en el molde no es suficiente, puesto que se trabaja con una humedad relativamente alta, la mezcla no sale del molde con facilidad, además, al extraer el disco del molde con la mezcla húmeda se tiende a desfigurar los bordes del disco perdiendo su redondez y cilindridad y se forman lados de espesores variables por corrimiento de la mezcla. Por esto es preciso dejar que la mezcla se seque dentro del molde para no perder la redondez, ni la cilindridad del disco, además con el secado, la mezcla sufre contracciones propias del cemento, despegándose el disco de las paredes del molde y facilitando aún más su extracción.

El disco antes de extraerlo es necesario dejarlo dentro del molde de 24 a 48 horas, ya que si se saca en un intervalo de tiempo mucho menor puede producirse un desnivel en los bordes del disco y una ruptura irregular en el perímetro del círculo que conforma el disco. En otras palabras, se rompe irregularmente la cara de trabajo del disco, lo cual puede provocar cargas cíclicas muy peligrosas durante el funcionamiento a más de 3500 rpm y fragmentarse peligrosamente. Solo si la mezcla se seca dentro del molde se puede mantener una distribución homogénea dentro del disco y la forma de la cara de trabajo.

Los discos son **aireados** durante dos días (48 horas) antes de ser sometidos al proceso de curado, planificado en el diseño experimental. El aireado se realiza a humedad (80 %) y temperaturas ambientes (25 °C) sobre el tablero donde se elaboran.

2.4.5. Curado

El **curado** se desarrolla sumergiendo los discos en un recipiente con agua a temperatura ambiente (25 °C). El nivel de agua debe sobrepasar las dimensiones máximas del disco solamente en 1/3.

2.5. Planteamiento y desarrollo del plan experimental

Para la investigación se usa un diseño de relaciones (Ecuaciones 7 y 8), donde se emplean las variables independientes en por ciento de agua (X_1), de cemento (X_2) y de abrasivo (X_3) (Tabla 2.3). La relación se establece entre el agua y el cemento (R_1) y el abrasivo y el cemento (R_2). Estas relaciones son tratadas como un diseño factorial completo (Tabla 2.4), añadiendo como tercer factor independiente el tiempo de curado (t). Se determina que la relación, cemento-arena se sitúa entre 0,4 y 0,6 para la arena seca [27].

Los rangos de los factores independientes del diseño de experimento se toman para el agua, $12 \% \leq X_1 \leq 15 \%$; para el cemento, $25 \% \leq X_2 \leq 30 \%$ y para el abrasivo, $60 \% \leq X_3 \leq 90 \%$. El tiempo de curado se toma entre $15 \leq X_4 \leq 30$, por lo que entonces se calculan las relaciones (Tabla 2.3).

$$\text{Relaciones} \quad r_1 = \frac{X_1}{X_2} \quad r_2 = \frac{X_3}{X_2}; \quad (7)$$

$$\text{Despejando} \quad X_1 = r_1 \times X_2 \quad X_3 = r_2 \times X_2$$

$$\text{Entonces se toma} \quad X_1 = r_1 \times X_2$$

$$\frac{1}{X_2} = \frac{r_1}{X_1} = R \quad X_1 = \frac{r_1}{R}; \quad X_2 = \frac{1}{R}; \quad X_3 = \frac{r_2}{R} \quad (8)$$

Ahora bien, teniendo en cuenta la condición de normalidad (ecuación 9), se puede plantear que:

$$\sum (X_1 + X_2 + X_3) = 1 \Leftrightarrow \sum (r_1 X_1 + X_2 + r_2 X_3) = 1 \Leftrightarrow X_2 (r_1 + r_2 + 1) = 1$$

$$r_1 + r_2 + 1 = \frac{1}{X_2} \Leftrightarrow r_1 + r_2 + 1 = R \quad (9)$$

Por tanto, cumpliendo la condición de normalidad, se define:

$$r_{1\text{ MAX}} = \frac{X_{1\text{ MAX}}}{X_{2\text{ MIN}}} \qquad r_{2\text{ MAX}} = \frac{X_{3\text{ MAX}}}{X_{2\text{ MIN}}}$$

$$r_{1\text{ MIN}} = \frac{X_{1\text{ MIN}}}{X_{2\text{ MAX}}} \qquad r_{2\text{ MIN}} = \frac{X_{3\text{ MIN}}}{X_{2\text{ MAX}}}$$

Tabla 2.3: Datos del diseño

Componente	Código	Niveles		Nivel medio	Tipo de relación	Máx./min.	X1=r1/R	X2=1/R	X3=r2/R	Cant. A preparar (g)
		Mínimo	Máximo							
Agua	X1	12	15	13,5	r1max	0,6	Factorial completo			170
Cemento	X2	25	30	27,5	r1min	0,40	Dos niveles			
Abrasivo	X3	60	90	75	r2max	3,60	tres factores (r1; r2; t)			
	Tiempo	t	15	30	r2min	2,00				

Tabla 2.4: Planteamiento del diseño experimental

Diseño de relaciones				Relaciones			Combinación de ambos diseños			
							Agua (%)	Cemento (%)	Abrasivo (%)	Tiempo (días)
N ⁰	r1	r2	T	r1	r2	R	X1	X2	X3	X4
1	-	-	-	0,4	2	3,4	11,7647	29,4118	58,8235	15
2	+	-	-	0,6	2	3,6	16,6667	27,7778	55,5555	15
3	-	+	-	0,4	3,6	5	8,0000	20,0000	72,0000	15
4	+	+	-	0,6	3,6	5,2	11,5384	19,2308	69,2308	15
5	-	-	+	0,4	2	3,4	11,7647	29,4118	58,8235	30
6	+	-	+	0,6	2	3,6	16,6667	27,7778	55,5555	30
7	-	+	+	0,4	3,6	5	8,0000	20,0000	72,0000	30
8	+	+	+	0,6	3,6	5,2	11,5384	19,2308	69,2308	30

Tabla 2.5. Cantidad de sustancia en el experimento y la relación agua/cemento

Relación agua/cemento ($0,4 \leq A/C \leq 0,6$)	N ^o	Cantidad de la sustancia en el experimento a realizar, en gramos			Total	Tiempo (días)
		Agua	Cemento	Abrasivo		
0,4	1	20,00	50,00	100,00	170	15
0,6	2	28,33	47,22	94,44	170	15
0,4	3	13,60	34,00	122,40	170	15
0,6	4	19,62	32,69	117,69	170	15
0,4	5	20,00	50,00	100,00	170	30
0,6	6	28,33	47,22	94,44	170	30
0,4	7	13,60	34,00	122,40	170	30
0,6	8	19,62	32,69	117,69	170	30

Tabla 2.6. Puntos experimentales adicionales para discos de 8 mm de espesor.

Relación agua/cemento	N ^o	Cantidad de sustancia en gramos			Total
		Agua	Cemento	Abrasivo	
0,4	1E	62,12	155,29	262,59	240
0,6	2E	76,24	122,26	284,33	240

El diseño de experimento se ajusta entre los valores de 0,4 y 0,6 de relación agua y cemento, ya que se demuestra que los monitores de cemento mantienen reconocidas propiedades de abrasividad entre estos dos valores [28], [29], [30].

Para ajustar la cantidad de cada material al volumen que se necesita se calculan (Tabla 2.5) las proporciones, que cumplan con las cantidades de mezcla del diseño (Tabla 2.4).

2.6. Conclusiones parciales

1. Para la fabricación de discos abrasivos es necesario tener en cuenta la relación porcentual entre los componentes de la mezcla, para el tamaño de grano a utilizar, manteniendo constante la relación agua/cemento, entre 0,4 y 0,6.
2. Para evaluar la efectividad de las proporciones entre el abrasivo y el aglutinante empleado resulta importante evaluar también el tiempo de permanencia en agua o curado y el acabado de las superficies del disco que se obtienen en el interior del molde.
3. El ensayo de abrasividad es adecuado para evaluar el comportamiento de los prototipos de discos abrasivos, permitiendo el índice de desgaste relativo (DR) aislar los resultados experimentales de la influencia de las condiciones de experimentación, lo que posibilita la comparación entre los diferentes prototipos de discos abrasivos y extraer los resultados más asequibles que garanticen la funcionalidad de la herramienta.
4. El molde desarmable de acero AISI 1010 (diámetro interior de 115 mm y alto 14 mm), elaborado por maquinado, garantiza las dimensiones, resistencia, rigidez y coaxialidad necesarias para la obtención de discos abrasivos para la limpieza de soldaduras, a partir de mezclas de cemento, agua y arena sílice.

Capítulo III: Análisis de la influencia de las materias primas en la fabricación y el desempeño de los discos abrasivos

3.1. Evaluación de la productividad de los discos abrasivos elaborados

3.1.1. Preparación de la instalación experimental

Para el desarrollo del ensayo de abrasividad (Figura 3.1) del disco (1) se requiere de un taladro de columna (2), un motor (3), el cual pone la herramienta abrasiva (1) en rotación y un protector (4), capaz de garantizar la protección del operario en caso de que se desintegre el disco. El motor (3), al igual que el protector (4), se fijan al banco del taladro, mediante un tornillo de banco (5) y una brida (6), respectivamente. El motor (3) es alimentado con 110 V y trabaja aproximadamente a 4500 rpm, en su primer escalón de velocidad, 6000 rpm en el segundo y 7200 en el tercero.

Para la prueba se utiliza una probeta de acero (7), la cual será sometida al desbaste producido por el roce del disco abrasivo (1). Como parte de la preparación de la instalación experimental es necesario tener en cuenta todas las medidas preventivas para evitar posibles accidentes, por lo cual debe evitarse las aglomeraciones de personal en el área de prueba y revisar bien la instalación antes de proceder al ensayo.

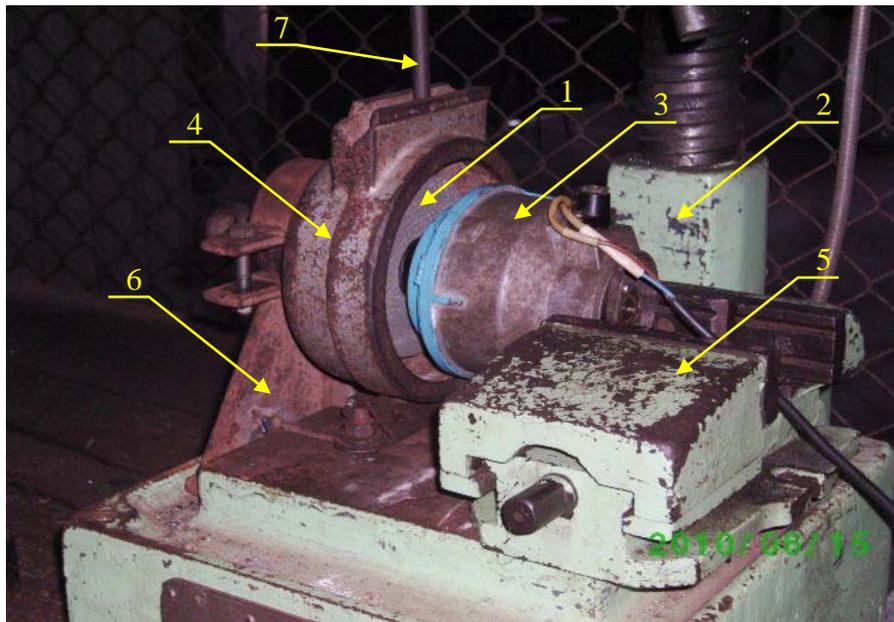


Figura 3.1 Instalación empleada para el experimento

El ensayo se realiza a 4500 rpm, con una probeta de acero 45, de diámetro 10 mm, durante un tiempo de 2 min, para cada disco evaluado.

3.1.2. Desarrollo experimental

Tras la correcta instalación del sistema experimental (Figura 3.1) se procede a la prueba de abrasividad del disco. El ensayo se realiza para cada una de las herramientas abrasivas, iniciándose con las de aplicación para el desbaste (8 mm de espesor) y luego las de corte (4mm de espesor), probando así cada uno de los puntos experimentales planteados.

Primero se hace rotar el disco abrasivo (1) 30 min. a 4500 rpm, sin carga. Luego, se le aplica una pequeña carga (200 kg) a la probeta colocada en el porta brocas del taladro (2). La carga se aplica mediante la colocación de un peso en el extremo de la palanca que controla el desplazamiento vertical de husillo de la máquina herramienta. Este procedimiento se repite para cada uno de los discos abrasivos. Para determinar el desgaste que se produce, inicialmente se pesa, tanto el disco abrasivo, como la probeta; luego de la prueba se vuelven a pesar y se determina el desgaste mediante la variación del peso en los dos cuerpos.

3.1.3. Descripción de los resultados

No todos los discos diseñados según el plan experimental pudieron ensayarse. Los puntos 3 y 4 (Tabla 2.5), para los discos de 4 mm de espesor, así como los 2, 3 y 4, pero para los discos de 8 mm, no se pudieron emplear. Los puntos 3 y 4 se desmoronaban al contacto con las manos. Los discos de 8 mm de espesor, correspondientes al punto 2, presentaban porosidades abundantes en la cara superior del molde, y en menor cantidad en la cara inferior.

Debido a estos inconvenientes, se realizan dos puntos experimentales adicionales (Tabla 2.6), enmarcadas sus composiciones entre los puntos experimentales 1 y 2 inicial (Tabla 2.5).

De los puntos adicionales, uno de ellos mantiene el mismo inconveniente de los puntos experimentales 2 (Tabla 2.5), pero en menor proporción.

Los discos evaluados en el ensayo de abrasividad se corresponden con los puntos experimentales 1 y 2, para discos de 4 mm, y el punto 1, para el disco de 8 mm (Tabla 2.5).

De los discos elaborados adicionalmente (8 mm de espesor), solo se ensayó el punto experimental 1 (Tabla 2.6).

Los resultados experimentales (Tabla 2.7) muestran una correspondencia dependiente y creciente entre los desgaste del disco y la probeta, significándose mayores desgastes para el punto experimental 1 (Tabla 2.5), del disco de 4 mm de espesor.

Tabla 3.1: Desgastes relativos derivados del ensayo de abrasividad

Desig. Disco	Disco			Probeta		
	W inicial (g)	W final (g)	Variación (g)	W inicial (g)	W final (g)	Variación (g)
1-30-8	163,8340	163,4726	0,3614	95,6226	95,5203	0,1023
E-30-8	160,4743	159,683	0,7913	95,5203	95,3554	0,1649
1-30-4	102,6419	101,3389	1,3030	95,3554	95,1203	0,2351

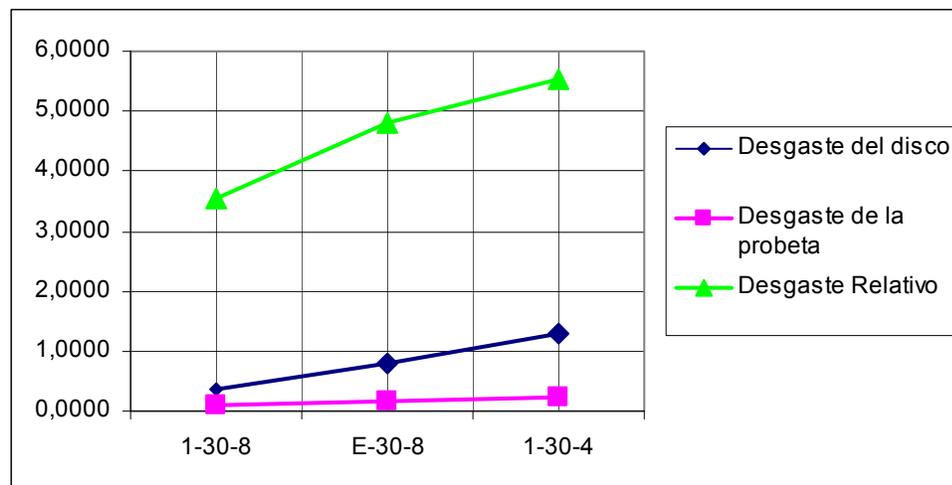


Figura 3.2: Curvas de desgaste absoluto (■; ◆) y relativo (▲)

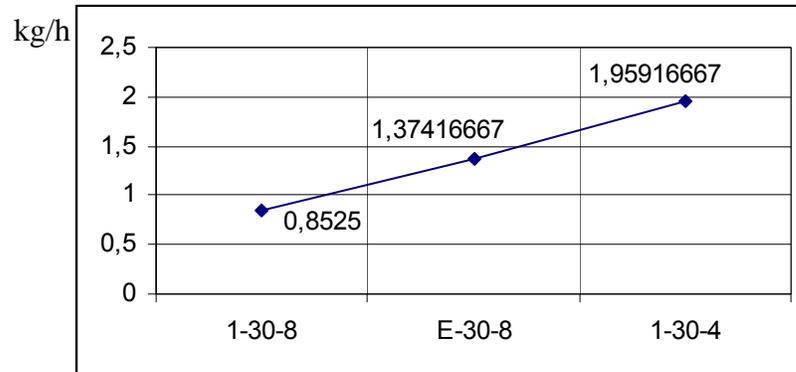


Figura 3.2: Curva de Productividad de los discos ensayados

3.1.4. Análisis de los resultados

Los puntos 3 y 4 (Tabla 2.5), se desmoronan al contacto con las manos. Este puede ser el resultado de presentar relativamente poco (8 %) contenido de agua (punto 3) o un contenido medio (11,5 %) de agua, combinado con un elevado contenido de abrasivo (69,2 %), lo que producen mezclas relativamente secas con relativamente bajas propiedades de fraguado, afectando la adhesividad del aglutinante (cemento Portland P-350), con el abrasivo (arena sílice) y afectando la integridad mecánica de los discos (desmoronamiento por contacto).

Los discos de 8 mm de espesor, correspondientes al punto 2 (Tabla 2.5), están compuestos por el mayor por ciento de agua (16,7 %) y el menor de abrasivo (55,6 %). Esta relación extrema de composición produce una mezcla extremadamente húmeda, fácilmente moldeable, pero que durante el proceso de fraguado deja oquedades marcadamente visibles en los discos. La porosidad mayor se aprecia en la cara superior del molde, decreciendo a través de su espesor, hasta una menor cantidad en la cara inferior.

De los puntos adicionales (Tabla 2.6), el punto 2 mantiene el mismo inconveniente del punto experimental 2 (Tabla 2.5), pero en menor proporción. El resultado se debe a la ligera menor (23,54 %) cantidad de agua en exceso en la mezcla.

Los discos evaluados en el ensayo de abrasividad se corresponden con los puntos experimentales 1 y 2, para discos de 4 mm, y el punto 1, para el disco de 8 mm

(Tabla 2.5). Estos puntos experimentales poseen una relación agua/cemento (Tabla 2.6) extrema (0,4 y 0,6, para los puntos 1 y 2, respectivamente). Sin embargo, son los puntos de menor contenido de abrasivo (58,8 % y 55,6 % de abrasivo, respectivamente). Esta relación convierte a las mezclas en las de mejores propiedades de resistencia mecánica aparente, pero con limitadas potencialidades abrasivas, debido a su limitado por ciento de abrasivo.

Los resultados experimentales (Figura 3.2) muestran una correspondencia dependiente y creciente entre los desgastes del disco y la probeta, significándose mayores desgastes para el punto experimental 1-30-4 (Tabla 2.5), correspondiente al disco abrasivo de 4 mm de espesor.

Considerando un tiempo de ensayo de 2 minutos para todas las muestras (Epígrafe 3.1.1), a partir de los datos de pérdida de masa del patrón (Tabla 3.1) pudiera estimarse la productividad de esta herramienta (disco abrasivo 1-30-4) como la cantidad de metal eliminado por unidad de tiempo (1,96 kg/h).

Consideraciones económicas durante la elaboración de los discos abrasivos

A partir de criterios vertidos en la literatura [4] y el costo del un saco de cemento de 50 kg en la red minorista asciende a 6,50 CUC.

Los costos de energía (Tabla 3.2) se valoran teniendo en cuenta la situación actual del país. La mano de obra, transportación, etc. se asumen, según reportes de autores consultados.

La producción de una posible pequeña instalación industrial, es capaz de producir aproximadamente 20 discos abrasivos, de 8mm de espesor por día, durante un período de 24 días laborables en 11 meses del año (Tabla 3.2).

Con una tonelada de mezcla preparada se pueden obtener 4166 discos abrasivos de 8 mm de espesor correspondiente al punto experimental 1 (Tabla 2.5), requiriendo 117,65 kg de agua, 294,1 kg de cemento y 588,2 kg de Abrasivo), considerando el peso del disco (240 g) evaluado experimentalmente.

El costo de fabricación unitario de disco abrasivo convencional oscila entre 2,5 y 4 CUC. Sin embargo, el que se propone posee un valor de 0,15 CUC.

Tabla 3.2: Datos utilizados para la valoración económica de la producción los discos

Concepto		Consumo al año	Precio CUC	Consumo (CUC)
Materias primas	Abrasivo (Arena Sílice)	1,056 t	375	396
	Cemento Pórtland P-350	0,5228 t	130	67,96
	Agua	0,21 t	100	21
Transportación	-	0,633 t	4,58	2,99
Energía	Mezclado	11,76 kW-h	5	58,8
	Tamizado	2,5 kW-h	5	12,5
Sub total	-	-	-	559,16
Mano obra	10-20 % Costo producción	-	-	83,87
Mantenimiento	2-10 % Costo producción	-	-	27,96
Depreciación	10-15 %	-	-	83,87
Total	-	-	-	754,87

Fabricando en el año una cantidad hipotética de 5280 discos abrasivos (20 discos diarios, a razón de 24 días laborales durante 11 meses), si se comercializan al mínimo del precio internacional, se obtiene un valor de 13 200 CUC. Sin embargo, al precio estimado para este disco se obtiene un efecto económico de 12 408 CUC anuales.

3.2. Conclusiones parciales

1. Los puntos con relativo bajo (8 %) contenido de agua (punto 3) o medio (11,5 %), combinado con un elevado contenido de abrasivo (69,2 %) producen mezclas secas con relativamente bajas propiedades de fraguado, lo cual afecta la adhesividad del aglutinante (cemento Portland P-350), con el abrasivo (arena sílice) y afecta la integridad mecánica de los discos, que se desmoronan por contacto.
2. Cuando se combina el mayor por ciento de agua (16,7 %) y el menor de abrasivo (55,6 %) se produce una mezcla extremadamente húmeda (punto experimental 2), fácilmente moldeable, pero que durante el proceso de fraguado deja oquedades marcadamente visibles en los discos. Esta porosidad debilita la integridad mecánica de los discos.
3. Existe una correspondencia dependiente y creciente entre los desgastes del disco y la probeta, significándose mayores desgastes para el punto experimental 1-30-4, correspondiente al disco abrasivo de 4 mm de espesor.
4. El costo de fabricación unitario de disco abrasivo convencional oscila entre 2,5 y 4 CUC. Sin embargo, el que se propone alcanza un costo de 0,15 CUC. Fabricando en el año una cantidad hipotética de 5280 discos abrasivos se obtiene un efecto económico de 12 408 CUC anuales.

Conclusiones Generales

1. Se han empleado mezclas de cemento Pórtland P-350 y agua como aglutinante de morteros cerámicos, destinados a la elaboración de pequeñas herramientas abrasivas con vástago y de piedras de esmeril para el pulimento de piso; sin embargo, no ha sido demostrada su efectividad en la fabricación de discos abrasivos, empleando arena sílice como aglutinante, debido a su endeble geometría y complejo régimen de trabajo.
2. El molde desarmable de acero AISI 1010 (diámetro interior de 115 mm y alto 14 mm), elaborado por maquinado, garantiza las dimensiones, resistencia, rigidez y coaxialidad necesarias para la obtención de discos abrasivos para la limpieza de soldaduras, a partir de mezclas de cemento, agua y arena sílice.
3. Los puntos con relativo bajo (8 %) o medio (11,5 %) contenido de agua, combinado con un elevado por ciento de abrasivo (69,2 %) o la coincidencia del mayor por ciento de agua (16,7 %) con el menor de abrasivo (55,6 %) afectan la integridad mecánica de los discos.
4. Los puntos experimentales que poseen una relación agua/cemento extrema (0,4 y 0,6) permiten elaborar discos con menores contenidos de abrasivo (58,8 % y 55,6 %, respectivamente) confiriéndole a las mezclas las mejores propiedades de resistencia mecánica aparente, pero con limitadas potencialidades abrasivas.
5. Existe una correspondencia dependiente y creciente entre los desgastes del disco y la probeta, significándose mayores desgastes para el punto experimental 1-30-4, correspondiente al disco abrasivo de 4 mm de espesor.
6. El costo de fabricación unitario de disco abrasivo convencional oscila entre 2,5 y 4 CUC. Sin embargo, el que se propone alcanza un costo de 0,15 CUC. Fabricando en el año una cantidad hipotética de 5280 discos abrasivos se obtiene un efecto económico de 12 408 CUC anuales.

Recomendaciones

1. Desarrollar una mezcla interfacial, que permita la adecuada extracción del molde.
2. Estudiar la influencia del tamaño de la malla y el tipo de material de la misma, sobre la resistencia mecánica de los discos.
3. Estudiar el empleo de otras variedades de cemento sobre las propiedades de autoafilado de los discos.
4. Variar el tamaño de grano y el tipo de abrasivo para mejorar la productividad de los discos.
5. Hacer extensivo el estudio a muelas cilíndricas.

Referencias bibliográficas

1. Gómez, C., *Muelas abrasivas sobre vástago, obtenidas a partir de materiales cubanos.*, in *XII Congreso Metalúrgico*. 2007: La Habana, Cuba.
2. Gómez, C., *Uso de escorias aluminotérmicas para la fabricación de abrasivos*, in *10ma Convención y Feria de las Industrias Metalúrgica, Mecánica y del Reciclaje, METÁNICA 2006*. 2006: Palacio de Convenciones, La Habana, Cuba.
3. Palacios-Arteaga, O., *Metodología para la elaboración de muelas abrasivas sobre vástago, a partir de escorias aluminotérmicas y cemento Portland p-350*. 2007, UCLV: Santa Clara.
4. Leal-Jimenez, A., *Limas abrasivas obtenidas a partir de escorias aluminotérmicas y cemento P-350*, in *CIS*. 2009, UCLV: Santa Clara. p. 80.
5. *Materiales abrasivos*. 2004 [cited; Available from: (www.cielosur.com, 2004)].
6. Serrano Luna, M.E. *Sílice*. 2010 [cited 2010; Available from: http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi_rocas/silice.htm].
7. Anonimo. *Gel de sílice*. 2010 [cited 2010; Available from: http://es.wikipedia.org/wiki/Gel_de_s%C3%ADlice].
8. Hesse, G. *Tipo de materiales de los abrasivos*. 2008 [cited 2008 2008/07/22]; Available from: <http://www.cielosur.com/gerardo2.php>.
9. ANONIMO. *Abrasivos Solidos*. [cited 2008 Jueves 4 de septiembre]; Available from: <http://www.cepillostriunfo.com.ar/Abrazivossolidoscentral.htm>.
10. anonimo. *aglutinantes*. 2010 [cited 2010; Available from: http://www.kalipedia.com/tecnologia/tema/fotosaglutinantes.html?x1=20070822klpinqtcn_58.les&x=20070822klpingtcn_15.Kes].
11. Gómez, C., *Obtención de fundente fundido para la SAW a partir de rocas minerales cubanas*, in *Centro de Investigaciones de Soldadura*. 1996, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas: Santa Clara. p. 104.
12. Bereznoy, A.S., *Sistemas de óxidos multicomponentes* 1970, Kiev: Casa de la Ciencia 544.
13. Gómez, C.e.a., *Influencia del óxido de titanio en el fundente fundido CIS F10*, in *METANICA 2000*. 2000.

14. Anonimo. *Resina*. 2010 09:08, 5 jun 2010. [cited 2010; Available from: <http://es.wikipedia.org/wiki/Resina>].
15. Anonimo. 2010 [cited 2010 14 - Jun - 2010]; Available from: www.quiminet.com.
16. Wikipedia. *Cemento Portland*. [cited 2008 Jueves 2 de septiembre]; Available from: http://es.wikipedia.org/wiki/Cemento_portland.
17. autores, C.d. *METODO Y APARATO PARA FABRICAR UNA MOLDURA* 2010 [cited; Available from: <http://www.invenia.es/oepm:p200450041>].
18. SIMON, M., W. . *METODO PARA FABRICAR HERRAMIENTAS ABRASIVAS AGLOMERADAS CON RESINA* 2009 [cited; Available from: <http://www.invenia.es/oepm:p200450041><<http://www.invenia.es/oepm:p200450041>>].
19. Rodríguez Esquivel, J., *Elaboración de muelas abrasivas a partir de residuales del proceso de reducción alumniotérmica*. , in *Facultad de Ingeniería Mecánica*. 2004., UCLV.
20. UNCETA, c.f., *Catálogo de Precios Para Heramientas de Calidad*. Tercera ed. 1994, España
21. *Herramientas Abrasivas*. 1983: Cuba
22. Anónimo. *Ensayo y empleo de materiales*. [cited; Available from: <http://www.fao.org/docrep/003/V9468S/v9468s07.htm>].
23. Salcines Merino, C.M., *Tecnología de fundición*. 1995.
24. ANONIMO. *JUEGO COMPLETO TAMIZ GRANOLOMETRIA ARIDOS*. [cited 2009 Lunes 16 de Febrero]; Available from: http://www.habitamos.com/post/3665503/juego_completo_tamiz_granolometria_aridos.
25. Tamices.cl. *TAMIZADORA DE ENSAYO (TYLER RO-TAP® II RX-94)*. [cited 2009 Lunes 16 de Febrero]; Available from: <http://www.tamices.cl/tamizadora-tyler-8rx94.htm>.
26. Ortelio Boada Carrazana, Y.S., *Teoría del Corte de Metales* Editorial Pueblo y Educación ed. Vol. Tomo II. 1985. 254.

27. Kobayashi, M., *Investigations on Chemical Composition of Welding Fumes* Welding Journal, 1983 **62**, no. 7: p. 190s-196s.
28. Palacios Arteaga, O., *METODOLOGIA PARA LA ELABORACION DE MUELAS ABRASIVAS SOBRE VASTAGO, A PARTIR DE ESCORIAS ALUMINOTERMICAS Y CEMENTO PÓRTLAND P-350*. Curso 2006 -2007, Universidad Central Marta Abreu de las Villas: Santa Clara. p. 57.
29. Andrade Garrido, M., *DISEÑO Y PROPIEDADES DE HORMIGONES DE ALTO DESEMPEÑO ELABORADOS CON CEMENTO MEZCLA*. REVISTA DE LA CONSTRUCCIÓN, Diciembre 2004. **Volumen 3 - N° 2**: p. 42.
30. ANONIMO. *ENSAYO Y EMPLEO DE MATERIALES*. [cited 2008 5 de septiembre]; Available from: <http://www.fao.org/docrep/003/V9468S/v9468s07.htm>.

Anexo

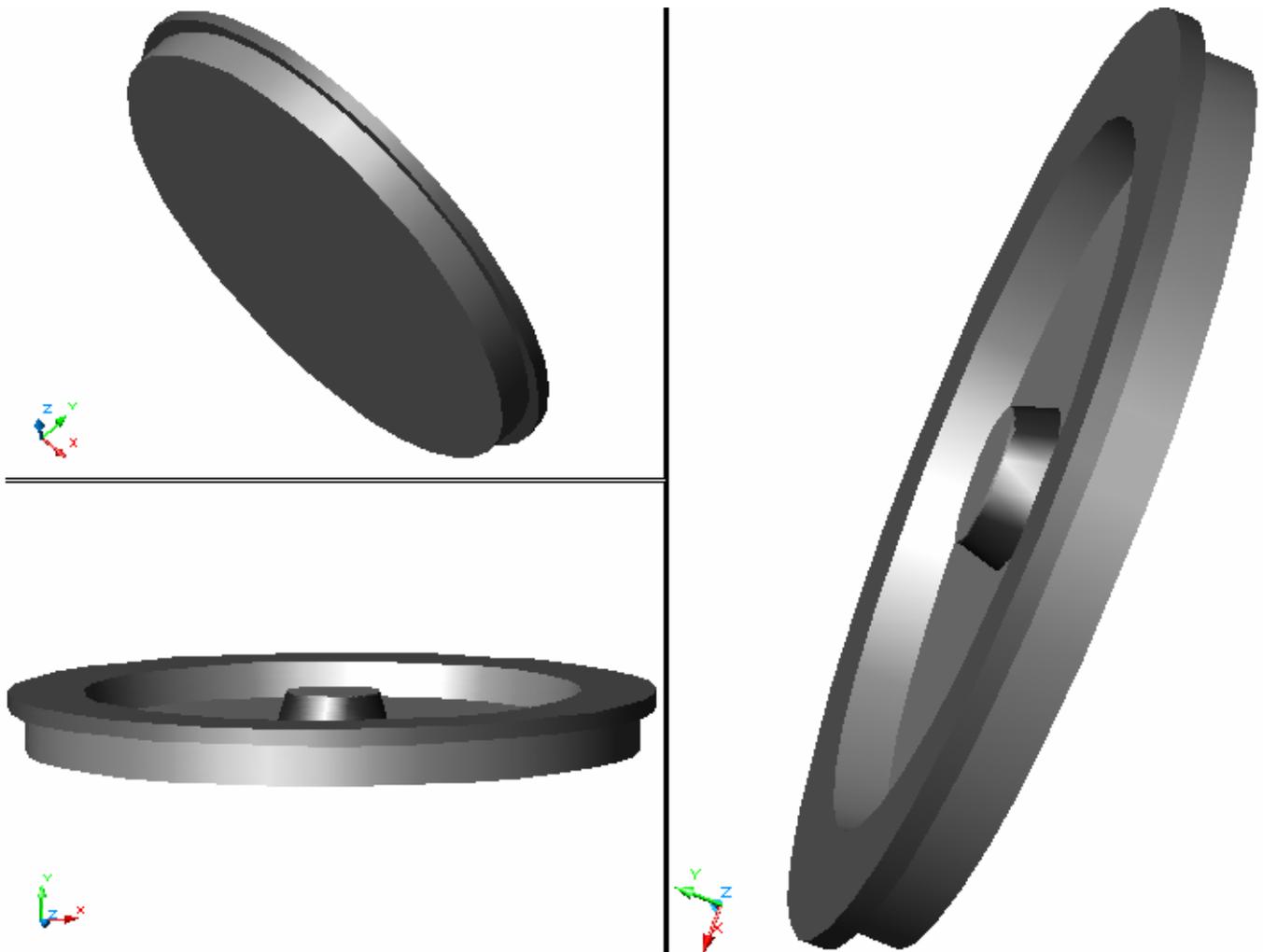


Figura 1: Molde (3D) empleado para la fabricación de los discos abrasivos