



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**USO DE LA ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL COMO MATERIAL ABRASIVO
EN EL PROCESO DE LIMPIEZA POR EL MÉTODO DE *SANDBLASTING*,
PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS**

Jackeline Jeannette Sajmoló Ruiz

Asesorado por la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol

Guatemala, junio de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**USO DE LA ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL COMO MATERIAL ABRASIVO
EN EL PROCESO DE LIMPIEZA POR EL MÉTODO DE *SANDBLASTING*,
PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JACKELINE JEANNETTE SAJMOLO RUIZ

ASESORADO POR LA INGA. DILMA YANET MEJICANOS JOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Linares Cruz
EXAMINADOR	Ing. Jeovany Rudaman Miranda Castañón
EXAMINADOR	Ing. Yefry Valentin Rosales Juárez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

USO DE LA ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL COMO MATERIAL ABRASIVO EN EL PROCESO DE LIMPIEZA POR EL MÉTODO DE *SANDBLASTING*, PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha mayo de 2011.


Jackeline Jeannette Sajmoló Ruiz



Guatemala, 13 de febrero de 2012

Ingeniero
Guillermo Francisco Melini Salguero
Área de Materiales y Construcciones Civiles
COORDINADOR

Ingeniero Melini

Me dirijo a usted para informarle, que he revisado el trabajo de graduación **USO DE LA ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL COMO MATERIAL ABRASIVO EN EL PROCESO DE LIMPIEZA POR EL MÉTODO DE SANDBLASTING, PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS**, elaborado con la estudiante universitaria Jackeline Jeannette Sajmoló Ruiz, quien conto con la asesoría de la suscrita.

Considerando que el trabajo desarrollado por la estudiante universitaria Sajmoló Ruiz, satisface los requisitos exigidos en el reglamento de graduación, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

"Id y enseñad a todos"

Inga. Civil Dilma Yanet Mejicanos Jol
Col. 5947
ASESORA

Dilma Y. Mejicanos Jol
Ingeniera Civil
Col. 5947



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
28 de marzo de 2012

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos
Guatemala

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **USO DE LA ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL COMO MATERIAL ABRASIVO EN EL PROCESO DE LIMPIEZA POR EL MÉTODO DE SANDBLASTING, PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Jackeline Jeannette Sajmoló Ruiz, quien contó con la asesoría de la Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol.

Considero que el trabajo realizado por la estudiante Sajmoló Ruiz, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

~~Ingeniero Civil~~ Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles

/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesora Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación de la estudiante Jackeline Jeannette Sajmoló Ruiz, titulado **USO DE LA ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL COMO MATERIAL ABRASIVO EN EL PROCESO DE LIMPIEZA POR EL MÉTODO DE SANDBLASTING, PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, junio de 2012.

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **USO DE LA ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL COMO MATERIAL ABRASIVO EN EL PROCESO DE LIMPIEZA POR EL MÉTODO DE SANDBLASTING PARA ESTRUCTURAS METÁLICAS**, presentado por la estudiante universitaria Jackeline Jeannette Sajmoló Ruiz , autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, junio de 2012



/cc

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida y permitirme culminar esta meta.
Mis padres	Carlos Enrique Sajmoló y Emma Lucrecia Ruiz de Sajmoló porque sin su amor y sostén incondicional no habría alcanzado este logro.
Mis hermanas	Emma Cristina e Ingrid Lorena por su soporte y cariño.
Mi familia	Por su afecto y comprensión.
Mis amigos	Julio García, Jessica Santos, Juan José Flores, Karin Ramírez, Manuel Martínez y Helen Pineda por su compañerismo y amistad.
Inga. Dilma Mejicanos	Por su asesoría, apoyo, tiempo dedicado y amistad.
Facultad de Ingeniería	Por ser mi casa de estudios y formarme como profesional.
Centro de Investigaciones de Ingeniería -CII-	Por contribuir en la realización de este trabajo, en especial a la sección de Concreto.

**Centro de Estudios
Superiores de Energía y
Minas -CESEM-**

Por apoyarme y permitirme realizar los ensayos para la elaboración de este trabajo.

**Compañía Guatemalteca
de Níquel -CGN-**

Por el apoyo demostrado y facilitar en gran manera la realización esta investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XV
GLOSARIO.....	XVII
RESUMEN.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Definición del método de limpieza <i>sandblasting</i>	1
1.2. Importancia de la limpieza.....	1
1.3. Usos del método de limpieza <i>sandblasting</i>	2
1.4. Ventajas y desventajas del método de limpieza <i>sandblasting</i> para estructuras metálicas con arena.....	3
1.5. Material abrasivo utilizado en el proceso de limpieza <i>sandblasting</i>	3
1.5.1. Propiedades y características del material abrasivo.....	6
1.5.1.1. Granulometría.....	6
1.5.1.2. Forma.....	7
1.5.1.3. Peso específico.....	7
1.5.1.4. Impurezas y contaminación.....	8
1.5.1.5. Absorción y contenido de humedad.....	8
1.5.1.6. Dureza.....	9
1.5.1.6.1. Escala de <i>Mohs</i>	9
1.5.1.7. Fragilidad.....	11
1.6. Perfil de anclaje.....	11

1.6.1.	Rugosidad.....	13
1.6.2.	Medición del perfil de superficie de acero limpiada con chorro norma ASTM D 4417-84, SSPC AB-1.....	15
1.7.	Equipo utilizado en el proceso de limpieza <i>sandblasting</i>	17
1.8.	Normas de seguridad en el proceso de limpieza <i>sandblasting</i> ...	21
1.8.1.	Importancia de las normas de seguridad en el proceso de limpieza <i>sandblasting</i>	25
1.9.	Normas de la Sociedad de los Revestimientos Protectores por sus siglas en inglés –SSPC- (The Society for Protective Coatings).....	27
1.9.1.	Clasificación de las normas de preparación para superficies metálicas.....	28
1.9.1.1.	Normas de limpieza con chorro abrasivo para superficies metálicas.....	29
1.9.1.1.1.	Norma de la Sociedad de los Revestimientos Protectores por sus siglas en inglés -SSPC-SP 5 Limpieza con chorro abrasivo grado metal blanco.....	30
1.9.1.1.2.	Norma de la Sociedad de los Revestimientos Protectores por sus siglas en inglés -SSPC-SP 6 Limpieza con chorro abrasivo grado comercial.....	31

	1.9.1.1.3.	Norma de la Sociedad de los Revestimientos Protectores por sus siglas en inglés -SSPC-SP 7 Limpieza con chorro abrasivo grado ráfaga.....	32
	1.9.1.1.4.	Norma de la Sociedad de los Revestimientos Protectores por sus siglas en inglés -SSPC-SP 10 Limpieza con chorro abrasivo grado casi blanco.....	33
	1.9.1.2.	Grados de corrosión.....	34
	1.9.1.2.1.	Condición A.....	34
	1.9.1.2.2.	Condición B.....	35
	1.9.1.2.3.	Condición C.....	35
	1.9.1.2.4.	Condición D.....	36
2.	CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL.....		37
2.1.	Definición de la escoria de mata de níquel.....		37
2.2.	Localización del banco de escoria de mata de níquel.....		37
2.3.	Características físicas y propiedades mecánicas de la escoria de mata de níquel.....		39
2.3.1.	Peso específico norma ASTM C 128-88.....		40
2.3.2.	Granulometría norma ASTM C 136-84.....		40
2.3.3.	Peso unitario norma ASTM C 29-90.....		41

2.3.4.	Porcentaje de vacíos norma ASTM C 138-81.....	41
2.3.5.	Porcentaje de absorción norma ASTM C 128-88.....	41
2.3.6.	Porcentaje que pasa tamiz 200 norma ASTM C 117-87.....	42
2.3.7.	Materia orgánica norma ASTM C 40-84.....	42
2.4.	Propiedades químicas de la escoria de mata de níquel.....	42
2.4.1.	Desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado norma ASTM C 88-83.....	42
2.4.2.	Composición química.....	43
2.5.	Antecedentes de los usos de la escoria de mata de níquel.....	44
3.	DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.....	45
3.1.	Localización del banco de arena.....	45
3.2.	Ensayos aplicados a la arena de río y escoria de mata de níquel.....	46
3.2.1.	Propiedades físicas y características mecánicas de la arena de río.....	46
3.2.1.1.	Peso específico norma ASTM C 128-88.....	46
3.2.1.2.	Granulometría norma ASTM C 136-84....	48
3.2.1.3.	Peso unitario norma ASTM C 29-90.....	50
3.2.1.4.	Porcentaje de vacíos norma ASTM C 138-81.....	52
3.2.1.5.	Porcentaje de absorción norma ASTM C 128-88.....	52
3.2.1.6.	Porcentaje que pasa tamiz 200 norma ASTM C 117-87.....	55
3.2.1.7.	Materia orgánica norma ASTM C 40-84....	56

3.2.1.8.	Contenido total de humedad norma ASTM C 566-89.....	58
3.2.1.9.	Dureza relativa de <i>Mohs</i> norma SSPC-AB 1.....	59
3.2.2.	Propiedades químicas y mineralógicas de la arena de río.....	61
3.2.2.1.	Análisis petrográfico de la arena de río norma ASTM C 295-85.....	61
3.2.2.2.	Análisis de sílice.....	63
3.2.2.3.	Desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado norma ASTM C 88-83.....	64
3.2.2.4.	Conductimétrica de la contaminación iónica soluble en agua de la arena de abrasivos de voladura norma ASTM D 4940-89.....	67
3.2.2.5.	Contenido de aceite norma SSPC-AB 1...69	
3.3.	Proceso de limpieza por el método de <i>sandblasting</i> norma SSPC-AB 1.....	69
3.3.1.	Análisis del material abrasivo en el proceso de <i>sandblasting</i>	70
3.3.1.1.	Inspección visual del grado de preparación de superficie norma SSPC VIS 1.....	71
4.	RESULTADOS OBTENIDOS.....	73
4.1.	La arena de río como material abrasivo en el proceso de <i>sandblasting</i>	73

4.1.1.	Propiedades físicas y características mecánicas de la arena de río.....	73
4.1.1.1.	Peso específico norma ASTM C 128-88..	73
4.1.1.2.	Granulometría norma ASTM C 136-84....	73
4.1.1.3.	Peso unitario norma ASTM C 29-90.....	75
4.1.1.4.	Porcentaje de vacíos norma ASTM C 138-81.....	75
4.1.1.5.	Porcentaje de absorción norma ASTM C 128-88.....	75
4.1.1.6.	Porcentaje que pasa tamiz 200 norma ASTM C 117-87.....	75
4.1.1.7.	Materia orgánica norma ASTM C 40-84...	76
4.1.1.8.	Contenido total de humedad norma ASTM C 566-89.....	76
4.1.1.9.	Dureza relativa de <i>Mohs</i> norma SSPC-AB 1.....	76
4.1.2.	Propiedades químicas y mineralógicas de la arena de río.....	78
4.1.2.1.	Análisis petrográfico de la arena de río norma ASTM C 295-85.....	78
4.1.2.2.	Análisis de sílice de la arena de río.....	82
4.1.2.3.	Desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado norma ASTM C 88-83.....	82
4.1.2.4.	Conductimetría de la contaminación iónica soluble en agua de la arena de río norma ASTM D 4940-89.....	83
4.1.2.5.	Contenido de aceite norma SSPC- AB 1...	83

4.2.	La escoria de mata de níquel como material abrasivo en el proceso de <i>sandblasting</i>	84
4.2.1.	Propiedades físicas de la escoria de mata de níquel.....	84
4.2.1.1.	Contenido total de humedad norma ASTM C 566-89.....	84
4.2.1.2.	Dureza relativa de <i>Mohs</i> norma SSPC-AB 1.....	85
4.2.2.	Propiedades químicas de la escoria de mata de níquel.....	86
4.2.2.1.	Análisis de sílice de la escoria de mata de níquel.....	87
4.2.2.2.	Conductimétrica de la contaminación iónica soluble en agua de la arena de río norma ASTM D 4940-89.....	87
4.2.2.3.	Contenido de aceite norma SSPC-AB 1...88	
4.3.	Proceso de limpieza por el método de <i>sandblasting</i> norma SSPC-AB 1.....	88
4.3.1.	Análisis del material abrasivo en el proceso de <i>sandblasting</i>	90
4.3.1.1.	Análisis de la arena de río como abrasivo en el proceso de <i>sandblasting</i> ..	91
4.3.1.1.1.	Primera prueba.....	91
4.3.1.1.2.	Segunda prueba.....	94
4.3.1.1.3.	Tercera prueba.....	98
4.3.1.2.	Análisis de la escoria de mata de níquel como abrasivo en el proceso de <i>sandblasting</i>	101

	4.3.1.2.1.	Primera prueba.....	102
	4.3.1.2.2.	Segunda prueba.....	105
	4.3.1.2.3.	Tercera prueba.....	109
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		115
5.1.	En materiales.....		115
5.1.1.	Agregado fino.....		115
5.1.1.1.	Evaluación de las propiedades físicas y características mecánicas.....		116
5.1.1.2.	Evaluación química y mineralógica.....		118
5.2.	En estructura metálica.....		120
5.2.1.	Evaluación visual.....		120
5.2.2.	Evaluación física.....		121
5.3.	Evaluación económica.....		121
5.4.	Ventajas y desventajas del método de limpieza <i>sandblasting</i> para estructuras metálicas con escoria de mata de níquel.....		123
CONCLUSIONES.....			125
RECOMENDACIONES.....			127
BIBLIOGRAFÍA.....			129
ANEXOS.....			135

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Medición de rugosidad Ra.....	13
2.	Medición de rugosidad Rt.....	14
3.	Medición de rugosidad Rz.....	14
4.	Cinta de réplica adherida a la superficie arenada.....	16
5.	Equipo portátil de <i>sandblasting</i>	19
6.	Gabinete de <i>sandblasting</i>	20
7.	Fotografía de condición A.....	34
8.	Fotografía de condición B.....	35
9.	Fotografía de condición C.....	36
10.	Fotografía de condición D.....	36
11.	Planta CGN ubicada en el municipio El Estor, Izabal.....	38
12.	Localización del municipio El Estor, Izabal.....	39
13.	Curva granulométrica de la escoria de mata de níquel.....	40
14.	Localización del municipio Morales, Izabal.....	45
15.	Equipo utilizado en el ensayo de peso específico.....	47
16.	Equipo utilizado en el ensayo de granulometría.....	49
17.	Equipo utilizado en el ensayo de peso unitario.....	51
18.	Equipo utilizado en el ensayo de porcentaje de absorción.....	53
19.	Tamizado en húmedo.....	56
20.	Determinación del contenido de contaminación orgánica con el colorímetro.....	57
21.	Pesaje de las muestras de material.....	58
22.	Vidrio utilizado en el ensayo de dureza de <i>Mohs</i>	60

23.	Microscopio estereoscópico o lupa binocular con zoom.....	62
24.	Equipo utilizado en el ensayo de desgaste por sulfato de sodio.....	65
25.	Muestras de distintos grados de preparación de superficie.....	71
26.	Curva granulométrica de la arena.....	74
27.	Gráfica del porcentaje de rayones según el ensayo de dureza de <i>Mohs</i>	78
28.	Distribución de los diferentes tipos de partículas del banco de arena.....	81
29.	Contenido promedio de los componentes del banco de arena.....	81
30.	Gráfica del porcentaje de rayones según el ensayo de dureza de <i>Mohs</i>	86
31.	Tolva Sand – all utilizado en las pruebas de <i>sandblast</i>	89
32.	Compresor KAESER utilizado en las pruebas de <i>sandblast</i>	90
33.	Superficie 2,1 sometida al proceso de limpieza <i>sandblast</i> con arena de río.....	91
34.	Inspección del área 2,1 en el análisis de la arena como abrasivo.....	93
35.	Cuadrícula del área 2,1 analizada con la arena de río.....	94
36.	Superficie 3,1 sometida al proceso de limpieza <i>sandblast</i> con arena de río.....	95
37.	Inspección del área 3,1 en el análisis de la arena como abrasivo.....	96
38.	Cuadrícula del área 3,1 analizada con la arena de río.....	97
39.	Superficie 4,1 sometida al proceso de limpieza <i>sandblast</i> con arena de río.....	98
40.	Inspección del área 4,1 en el análisis de la arena como abrasivo.....	100
41.	Cuadrícula del área 4,1 analizada con la arena de río.....	101
42.	Superficie 2,2 sometida al proceso de limpieza <i>sandblast</i> con escoria de mata de níquel.....	102
43.	Inspección del área 2,2 en el análisis de la escoria como abrasivo.....	104

44.	Cuadrícula del área 2,2 analizada con la escoria de mata de níquel.....	105
45.	Superficie 3,2 sometida al proceso de limpieza <i>sandblast</i> con escoria de mata de níquel.....	106
46.	Inspección del área 3,2 en el análisis de la escoria como abrasivo.....	108
47.	Cuadrícula del área 3,2 analizada con la escoria de mata de níquel.....	109
48.	Superficie 4,2 sometida al proceso de limpieza <i>sandblast</i> con escoria de mata de níquel.....	110
49.	Inspección del área 4,2 en el análisis de la escoria como abrasivo.....	112
50.	Cuadrícula del área 4,2 analizada con la escoria de mata de níquel.....	113
51.	Vista bajo el microscopio de los abrasivos.....	116

TABLAS

I.	Clasificación de la arena por granulometría.....	7
II.	Tabla de valores de <i>Mohs</i>	10
III.	Perfiles de anclaje que se obtienen según la granulometría de la arena sílice.....	12
IV.	Clasificación de normas por método y grado de preparación.....	28
V.	Porcentaje de escoria de mata de níquel que pasa en cada tamiz.....	41
VI.	Porcentaje de desgaste según el ensayo de bondad o desgaste por sulfato de sodio.....	43
VII.	Composición química de la escoria de mata de níquel.....	43

VIII.	Preparación del material para el ensayo de desgaste por sulfato de sodio.....	66
IX.	Porcentaje de arena que pasa en cada tamiz.....	74
X.	Porcentaje de rayones según el ensayo de dureza de <i>Mohs</i>	77
XI.	Conteo del tipo de partículas que componen el banco de arena.....	79
XII.	Porcentaje de partículas que componen el banco de arena.....	79
XIII.	Porcentaje de desgaste según el ensayo de bondad o desgaste por sulfato de sodio.....	83
XIV.	Porcentaje de rayones según el ensayo de dureza de <i>Mohs</i>	85
XV.	Tasa de limpieza de la superficie 2,1 con la arena de río.....	92
XVI.	Tasa de consumo de la superficie 2,1 con la arena de río.....	92
XVII.	Tasa de limpieza de la superficie 3,1 con la arena de río.....	95
XVIII.	Tasa de consumo de la superficie 3,1 con la arena de río.....	96
XIX.	Tasa de limpieza de la superficie 4,1 con la arena de río.....	99
XX.	Tasa de consumo de la superficie 4,1 con la arena de río.....	99
XXI.	Tasa de limpieza de la superficie 2,2 con escoria de mata de níquel.....	103
XXII.	Tasa de consumo de la superficie 2,2 con escoria de mata de níquel.....	103
XXIII.	Tasa de limpieza de la superficie 3,2 con escoria de mata de níquel.....	107
XXIV.	Tasa de consumo de la superficie 3,2 con escoria de mata de níquel.....	107
XXV.	Tasa de limpieza de la superficie 4,2 con escoria de mata de níquel.....	111
XVI.	Tasa de consumo de la superficie 4,2 con escoria de mata de níquel.....	111

XXVII.	Análisis de la arena del río Motagua como abrasivo.....	122
XXVIII.	Análisis de la escoria de mata de níquel como abrasivo.....	122

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
° C	Grados centígrados
g	Gramos
H	Hora
kg	Kilogramo
kPa	Kilopascales
L	Litro
±	Más o menos
m	Metro
μS	Microsiemen
ml	Mililitros
mm	Milímetros
%	Porcentaje

GLOSARIO

Abrasivo	Minerales que tiene como finalidad actuar sobre otro material para raspar, pulir, desgastar, o dar forma.
Alvéolos	Son pequeños sacos de aire encargados del intercambio de gases entre el aire y la sangre.
Apatito	Mineral con cristales hexagonales y dureza 5 en la escala de <i>Mohs</i> . De color variable y tenacidad frágil.
Calcita	Mineral del grupo de los carbonatos. Es el mineral más estable que existe de carbonato de calcio. Se caracteriza por su baja dureza.
Carburo	Son compuestos que se forman a partir de la unión entre el carbono y un elemento E.
Conductividad	Capacidad de un cuerpo o medio para conducir la corriente eléctrica, es decir, para permitir el paso a través de él de partículas cargadas.
Corindón	Mineral formado por óxido de aluminio. Que aparece como escoria en el proceso de unión de rieles de ferrocarril mediante soldadura.

Corrosión	Desgaste total o parcial que disuelve o ablanda cualquier sustancia por reacción química o electroquímica con el medio ambiente.
Escoria	Sustancia de desecho, impuro que aparece en el proceso de producción y fundición de metales como el cobre, el plomo o el níquel.
Fluorita	Mineral formado por la combinación de calcio y flúor. En estado puro es incolora y transparente, tiene brillo vítreo.
Granalla	Abrasivo utilizado en numerosas aplicaciones como el tratamiento de superficies por granallado y el aserrado de bloques de granito.
Granate	Pertenece a un grupo de minerales que presentan cristales en forma de dodecaedros o trapecioedros.
Hidrocarburos	Compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno.
Mineral	Los minerales son los bloques constructores de las rocas. Son sólidos y, como toda materia, están hechos de átomos de elementos. Es aquella sustancia sólida, natural, homogénea, de origen inorgánico, de composición química definida (pero variable dentro de ciertos límites).

Olivino	Mineral, un silicato de hierro y magnesio. Con una tenacidad frágil.
Ortoclasa	Mineral del grupo de los silicatos. Es uno de los minerales formados más abundantes en la corteza terrestre.
Pedernal	Mineral de color negro (los hay amarillos) y de gran dureza. Utilizado en la antigüedad como herramienta cortante y para encender el fuego porque da chispas.
Perdigón	Pequeñas esferas, generalmente de plomo aunque las consideraciones ambientales hacen que se construyan de otros materiales como el acero.
<i>Sandblasting</i>	Chorro de arena o arenado en inglés. Es una técnica que describe el acto de propulsar trozos muy finos de material abrasivo a alta velocidad, utilizando un gas comprimido o de líquido a presión, para grabar o eliminar los contaminantes de una superficie.
Siemen	Unidad derivada del Sistema Internacional para la medida de la conductancia eléctrica.
Sílex	SiO ₂ , también llamado pedernal.

Soluble	Que se puede disolver. Se aplica al cuerpo sólido que se puede dividir en partículas muy pequeñas que se mezclan con las de un líquido.
Tenacidad	Energía total que absorbe un material antes de alcanzar la rotura. En mineralogía, es la resistencia que opone un mineral o material a ser roto, molido, doblado, desgarrado o suprimido.
Topacio	Mineral del grupo de silicatos. Se utiliza a menudo como piedra preciosa y algunas veces ha sido confundido con el diamante.
Wolframio	También llamado tungsteno, es un elemento químico de número atómico 74 que se encuentra en el grupo 6 de la tabla periódica de los elementos. Y su símbolo es W. Es un metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra en forma de óxido y de sales en ciertos minerales. Es de color gris acerado, muy duro y denso.

RESUMEN

La limpieza con chorro de arena o *sandblast* tiene como función eliminar la oxidación e impurezas, escamas de laminación y cualquier tipo de recubrimiento de las superficies con el fin de prepararla para la aplicación de pintura o recubrimiento. Dando de esta manera mantenimiento y preservando por más tiempo la superficie.

La norma de la Sociedad de los Revestimientos Protectores (por sus siglas en inglés SSPC) regula las propiedades y características que debe poseer los abrasivos minerales y escorias. Y bajo esta norma se analizó la escoria de mata de níquel proveniente de El Estor, Izabal tomando como patrón comparativo el análisis del banco de arena proveniente del río Motagua en Morales, Izabal.

Las muestras fueron estudiadas mediante un análisis completo, según las normas de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (por sus siglas en inglés ASTM), contenido de humedad ASTM C 566-89, intemperismo acelerado ASTM 88-83, conductividad ASTM D 4940-89 y contenido de aceite SSPC-AB 1; estos ensayos se realizaron en el Centro de Investigaciones de Ingeniería -CII-. Análisis petrográfico ASTM C 295-85 y dureza en la escala de *Mohs* SSPC-AB 1; estos ensayos se realizaron en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas -CESEM-. Contenido de sílice ensayo realizado en el Ministerio de Energía y Minas -MEM-. Y las pruebas de limpieza por el método de *sandblasting* SSPC, realizadas en El Estor, Izabal.

La escoria de mata de níquel presenta mejores resultados que el banco de arena, en cuanto a las propiedades físicas y químicas, y características mecánicas, dentro de las cuales se puede mencionar: la dureza, el desgaste, la conductividad, entre otros. Presentando además ventajas adicionales, como la contaminación generada y los problemas de salud relacionados con ello, el tiempo de limpieza y la cantidad de material utilizado. Por lo que al utilizar la escoria como abrasivo en el proceso de limpieza de *sandblasting* se está reduciendo sobre todo los costos de material, equipo y personal.

Los abrasivos cumplieron con la mayoría de las especificaciones que establece la norma, exceptuando en el contenido de humedad para lo cual se establecen recomendaciones para su corrección.

OBJETIVOS

General

Analizar y evaluar el uso de escoria de mata de níquel, como material abrasivo en el proceso de chorro de arena seco lanzado a presión.

Específicos

1. Proporcionar otro material abrasivo alternativo para utilizarse en el proceso de limpieza de chorro de arena seco lanzado a presión para el aprovechamiento de la escoria de mata de níquel, procedente del proceso de extracción de níquel.
2. Comparar las características físicas, y propiedades mecánicas y químicas de la escoria de mata de níquel respecto a la arena de río.
3. Comparar costos y rendimiento en el uso de material abrasivo entre la escoria de mata de níquel y la arena de río, en el proceso de *sandblasting*.
4. Evaluar si los materiales abrasivos (escoria de mata de níquel y la arena de río) provocan óxido en la estructura metálica, después del proceso de limpieza con *sandblasting*.
5. Proporcionar un abrasivo alterno que genere menos polvo y contaminación en el ambiente al momento de ser utilizado en el proceso de limpieza con *sandblasting*. Además de ser menos dañino para la salud el personal, que la arena de río.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las diferentes estructuras metálicas de acero como puentes, tanques, silos, tuberías, barcos, etc., se encuentran expuestas a ambientes atmosféricos, salpicaduras y derrames de sustancias químicas corrosivas o condiciones de inmersión están sujetas a degradación corrosiva y oxidación.

Una cuidadosa preparación de superficies antes y durante la aplicación de un sistema protector, necesariamente permitirá obtener una mejor protección del acero que al final se traducirá en una reducción de costos de mantenimiento, la preparación de superficie es el paso más importante en el proceso para aplicar recubrimientos a cualquier superficie.

Actualmente el mejor método de limpieza, así como de preparación de superficie es el *sandblasting* o chorro de arena seco lanzado a presión, que desde hace muchos años ha sido el pionero en la limpieza de todo tipo de estructura de origen metálico, por su amplio uso este proceso ha sido adoptado por las principales organizaciones internacionales. La Sociedad de los Revestimientos Protectores por sus siglas en inglés –SSPC- (The Society for Protective Coatings) y la Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión, por sus siglas en inglés –NACE- (National Association Of Corrosion Engineers) normas estadounidenses, han reglado las características y propiedades de los abrasivos, así como los grados de preparación para su exitoso uso.

La presente investigación contiene el análisis de la escoria de mata de níquel como material abrasivo que fue utilizado en el proceso de limpieza

sandblasting; evaluando sus propiedades físicas, características mecánicas y químicas. Además el estudio describe, el equipo utilizado y la realización de los ensayos según las normas ASTM y SSPC. Los resultados obtenidos y el análisis de la comparación de la escoria con el patrón (la arena del río Motagua en Morales, Izabal).

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Definición del método de limpieza *sandblasting*

Sandblast significa chorro de arena o arenado en inglés. Es un término general que se utiliza para describir el acto de propulsar trozos muy finos de material abrasivo a alta velocidad, utilizando un gas comprimido (normalmente aire) o de líquido a presión (agua), para grabar o eliminar los contaminantes de una superficie.

1.2. Importancia de la limpieza

La preparación de superficie es el paso más importante en el proceso para aplicar recubrimientos. Las superficies metálicas expuestas a ambientes atmosféricos, salpicaduras y derrames de sustancias químicas corrosivas o condiciones de inmersión están sujetas a degradación corrosiva y oxidación. Los contaminantes, derivados de la corrosión y oxidación de las superficies metálicas deben ser removidos para lograr un perfil de superficie que asegure un anclaje y adherencia del recubrimiento.

El realizar una limpieza inadecuada, deficiente o poco cuidadosa puede provocar fallas prematuras en las pinturas y provocar un mal desempeño en el recubrimiento, aunque las aplicaciones se realicen conforme a las indicaciones.

La superficie luego del proceso de arenado presenta (en una visión microscópica) una serie de valles y vértices con profundidades que varían entre 1,5 a 3,5 milésimas de milímetros perfectamente uniforme. Es en esa

base metálica áspera y micro rugoso que la película de pintura encuentra el mejor perfil de anclaje.

1.3. Usos del método de limpieza *sandblasting*

El chorro de arena se utiliza principalmente para dos aplicaciones diferentes: la primera de ellas y sobre la cual se analizará en esta investigación, es la limpieza de una superficie; para remover la oxidación e impurezas, escamas de laminación y cualquier tipo de recubrimiento de las superficies con el fin de prepararla para la aplicación de pintura o recubrimiento. Utilizado en la renovación de edificios de estructura metálica y madera, la limpieza de los cascos de embarcaciones o de grandes estructuras como el de un puente, limpieza industrial; sin embargo rara vez se utiliza en piezas no metálicas.

El segundo, es grabar o tallar en vidrio o cerámica. Al ajustar la velocidad del chorro de arena y el ángulo desde el cual el abrasivo impacta la superficie, se pueden crear diferentes tonos y así, obras de arte. Esta técnica también es aplicable a pantalones de Lona.

El chorro de arena también es utilizado para producir tres dimensiones en la señalización; para grabar motivos decorativos en hormigón fresco; para la limpieza de ladrillo, piedra y concreto; remoción de grafiti, pintura y otras manchas.

1.4. Ventajas y desventajas del método de limpieza *sandblasting* para estructuras metálicas con arena

Las ventajas y desventajas que se tienen al momento de utilizar arena, como material abrasivo en el proceso de limpieza *sandblasting* para estructuras metálicas, son las siguientes:

- Ventajas
 - Optimización de resultados, mayor uniformidad
 - Recorte de costos en mano de obra
 - Minimización de tiempos de trabajo, optimizando la mano de obra
 - Reducción en los tiempos de mantenimiento
 - Obtención de mayor anclaje y adherencia de recubrimientos.

- Desventajas
 - Utilización de maquinaria especial.
 - Aumento de costos por el alquiler y/o compra de maquinaria y equipo.
 - Riesgo para la salud del personal (que van desde heridas, quemaduras hasta enfermedades irreversibles como la silicosis), sino se cuenta con el equipo de seguridad adecuado.
 - Capacitación del personal.
 - Generación de residuos y polvo.

1.5. Material abrasivo utilizado en el proceso de limpieza *sandblasting*

El tipo de abrasivo determinará el costo y la efectividad de la limpieza. Se debe elegir el abrasivo más adecuado para el equipo a utilizar de acuerdo a los

resultados que se desea obtener, ya que una mala elección puede traer problemas de rendimiento en los equipos.

Según la norma SSPC-AB 1 especificaciones de abrasivos no. 1 Minerales y Escorias Abrasivas (*Mineral and Slag Abrasives*) los abrasivos se clasifican en dos tipos diferentes, tres clases y cinco grados.

- Los tipos de abrasivos, son:
 - Tipo I. Abrasivos minerales naturales
Estos son minerales naturales como arenas de cuarzo, sílex, granate y olivino; entre otros. La arena es el abrasivo natural de más fácil disponibilidad y muy bajo costo. Sin embargo es un material muy frágil.
Los abrasivos orgánicos son blandos, que se utilizan para evitar daños en el material subyacente, para limpiar ladrillo o piedra, eliminar el grafiti.
 - Tipo II. Abrasivos de escoria
Estos son los subproductos de la producción de carbón o de metal (como el cobre o el níquel) de fundición. Estos abrasivos crean cantidades bajas de polvo y su recuperación después del uso es mucho más fácil.
- Las clases de abrasivo, son:
 - Clase A. Sílice cristalina inferior o igual a 1,0 por ciento. Los abrasivos no deberán contener más de 1,0 por ciento en peso de la sílice cristalina.

- Clase B. Sílice cristalina inferior o igual a 5,0 por ciento. Los abrasivos no deberán contener más de 5,0 por ciento en peso de la sílice cristalina.
- Clase C. Sílice cristalina sin restricciones. No hay restricciones sobre el contenido de sílice cristalina.
- Los grados de abrasivo y sus cordilleras asociadas al perfil, son:
 - Grado 1. Abrasivos que producen perfiles de superficie de 13 a 38 micrómetros (0,5 a 1,5 milésimas de pulgada).
 - Grado 2. Abrasivos que producen perfiles de superficie de 25 a 64 micrómetros (1,0 a 2,5 milésimas de pulgada).
 - Grado 3. Abrasivos que producen perfiles de superficie de 51 a 89 micrómetros (2,0 a 3,5 milésimas de pulgada).
 - Grado 4. Abrasivos que producen perfiles de superficie de 75 a 127 micrómetros (3,0 a 5,0 milésimas de pulgada).
 - Grado 5. Abrasivos que producen perfiles de superficie de 102-152 micras (4,0 a 6,0 milésimas de pulgada).

Se pueden especificar otros rangos de perfil.

Dentro de los materiales abrasivos utilizados se tienen:

- | | |
|------------------------|---------------------------------------|
| • Arena sílice | • Granate |
| • Arena de río | • Abrasivo plástico |
| • Granos de carborundo | • Perlas de vidrio |
| • Óxido de aluminio | • Hielo seco |
| • Perdigones de acero | • Olote de maíz |
| • Escoria de cobre | • Cáscaras de frutos secos triturados |
| • Escorias en polvo | • Granos de la fruta |
| • Bolitas de metal | • Otros. |
| • Granalla de acero | |

1.5.1. Propiedades y características del material abrasivo

Entre los factores (propiedades y características) que hay que tomar en consideración en la elección del material abrasivo para utilizarse en el proceso de limpieza *sandblasting*, están:

1.5.1.1. Granulometría

La granulometría, la presión del aire suministrado y el pico de la tobera de salida, definen la profundidad o tamaño del valle que producirá la arena en su impacto contra la superficie. Por lo que es importante definir previamente el tamaño de los granos a emplear, y así lograr el acabado deseado.

Los granos de mayor tamaño cortarán más rápido y más profundo, dejando picos muy marcados que probablemente sobresaldrán del recubrimiento, esto favorecería a la oxidación. Para compensar dicha diferencia entre valles más profundos y vértices más altos, se tendría que aplicar varias capas de recubrimiento, lo que incrementaría el tiempo de trabajo y el costo total.

Las partículas grandes remueven múltiples capas de pintura, corrosión pesada o lechada de concreto y dejan perfiles profundos en las superficies. Los abrasivos de tamaño mediano remueven óxido ligero, pintura floja, y escamas de acero delgadas. Las partículas pequeñas dejan perfiles superficiales y son ideales para el chorreado en metales de poco calibre, madera, plástico, cerámica y otras superficies semidelicadas, además son muy recomendables para marcar las superficies con algún logotipo que requiere de precisión en el corte del abrasivo.

Tabla I. **Clasificación de la arena por granulometría**

ARENA SÍLICE	GRANULOMETRÍA	
	Mallas	Milímetros
Arena fina	40 – 60	0,2 – 0,4
Arena estándar	20 – 40	0,4 – 0,6
Arena gruesa	12 – 20	0,7 – 1,0
Arena superior	8 – 14	1,0 – 1,3

Fuente: www.filtrah2oltda.com/arenas-silices/sandblast. Consulta: julio de 2011.

1.5.1.2. Forma

Las diferentes formas en los abrasivos ofrecerán diferentes perfiles en la superficie, siendo las dos principales configuraciones de los abrasivos la angular y la esférica.

- Los abrasivos angulares rasgan el recubrimiento y dejan texturas marcadas. Estos trabajan mejor cuando se trata de desprender capas pesadas de pintura y corrosión.
- El abrasivo esférico golpea la superficie, fractura el recubrimiento sin dejar una textura marcada. Estos actúan mejor para remover escamas de fabricación y contaminación ligera.

1.5.1.3. Peso específico

El peso específico, es el peso del abrasivo por unidad de volumen. En la medida que el material sea más denso, será mayor la energía con que impacte

contra la superficie. Contrariamente sucederá si el valor de gravedad específica es bajo, también indicará un material más poroso.

De acuerdo a la norma SSPC-AB 1 especificaciones de abrasivos no. 1 Minerales y Escorias Abrasivas (*Mineral and Slag Abrasives*) la gravedad específica será de un mínimo de 2,5, determinada por la norma ASTM C 128-88.

1.5.1.4. Impurezas y contaminación

En nuestro medio es más común el uso de arena proveniente del lecho fluvial, un abrasivo natural, él cual debe estar libre de contaminantes. Por lo que debe ser sometido a análisis, debido a que puede arrastrar contaminantes desde el lugar de origen, ríos, canteras, etc.

La contaminación del abrasivo puede llegar a afectar la superficie que se desea limpiar. Tal como: aceite y grasa.

De acuerdo a la norma SSPC-AB 1 especificaciones de abrasivos no. 1 Minerales y Escorias Abrasivas (*Mineral and Slag Abrasives*) el abrasivo no deberá contener hidrocarburos.

1.5.1.5. Absorción y contenido de humedad

Es indispensable que la arena o el abrasivo a utilizar esté bien seco para que fluya muy bien en la tolva de gravedad que normalmente se utiliza para expulsar el abrasivo hacia la tobera, en caso contrario se obstruirán las líneas y se demorará la tarea.

El material abrasivo debe ser sometido a un proceso de secado porque puede ser capaz de absorber humedad. Tal es el caso de la arena que consigue absorber la humedad muy fácilmente.

Según la norma SSPC-AB 1 especificaciones de abrasivos no. 1 Minerales y Escorias Abrasivas (*Mineral and Slag Abrasives*) el contenido máximo de humedad será del 0,5 por ciento en peso, cuando se prueban de acuerdo con la norma ASTM C 566.

1.5.1.6. Dureza

La dureza es la propiedad más importante de un abrasivo. Esta determinará su efecto sobre la superficie que va a ser limpiada por el método de *sandblasting*. Por ejemplo, si el abrasivo es más duro que el sustrato, dejará un perfil sobre la superficie. Si es más suave que la superficie, pero más dura que el recubrimiento, solamente removerá el recubrimiento. Si es más suave que el recubrimiento, solamente limpiará la contaminación de la superficie sin remover el recubrimiento.

Un abrasivo con mayor dureza cortará con más rapidez y profundidad, es decir, de manera eficaz. La dureza del abrasivo está medida en la escala de *Mohs*. Según la norma SSPC-AB 1 especificaciones de abrasivos no. 1 Minerales y Escorias Abrasivas (*Mineral and Slag Abrasives*) la dureza será de 6 como mínimo en la escala de *Mohs*.

1.5.1.6.1. Escala de Mohs

La escala de *Mohs* es una relación de diez minerales ordenados en función de su dureza. Friedrich *Mohs* (1773-1839) eligió diez minerales a los

que atribuyó un determinado grado de dureza en su escala empezando con el talco, que le asignó el número 1, y terminando con el diamante, con el número 10. Cada mineral raya a los que tienen un número inferior a él, y es rayado por los que tienen un número igual o mayor al suyo.

A partir de esta escala se asignan valores de dureza al resto de los minerales. Por ejemplo, un mineral que raya a la fluorita y es rayado por el apatito, es un mineral con dureza 4,5. (Es importante destacar que esta escala de dureza es relativa. Los valores del 1 al 10 sólo representan el orden en el que aumenta la dureza)

Tabla II. **Tabla de valores de Mohs**

DUREZA	MINERAL	COMENTARIO
1	Talco	Se puede rayar fácilmente con la uña
2	Yeso	Se puede rayar con la uña con mayor dificultad
3	Calcita	Se puede rayar con una moneda de cobre
4	Fluorita	Se puede rayar con un cuchillo de acero
5	Apatito	Se puede rayar difícilmente con un cuchillo
6	Ortoclasa	Se puede rayar con una lija para el acero
7	Cuarzo	Raya el vidrio
8	Topacio	Rayado por herramientas de carburo de wolframio
9	Corindón	Rayado por herramientas de carburo de silicio
10	Diamante	El mineral más duro conocido.

Fuente: www.es.wikipedia.org/wiki/Escalas_de_dureza. Consulta: agosto de 2011.

1.5.1.7. Fragilidad

Fragilidad es la capacidad del abrasivo a fragmentarse con facilidad, produciendo partículas más pequeñas como consecuencia del impacto. Mientras más frágil sea el abrasivo, menos veces puede ser reutilizado y más polvo generará.

La arena sílice es extremadamente frágil debido a su composición de cuarzo y nunca debe ser reutilizada. En el primer uso, más del 80 por ciento de la arena se convierte en polvo con tamaños inferiores a la malla No. 300 (0,05 milímetros). Contaminando el ambiente y exponiendo al operador al desarrollo potencial de silicosis, una enfermedad pulmonar debilitante.

La mayoría de los abrasivos fabricados y derivados de un producto, pueden ser reciclados varias veces, al igual que algunos abrasivos naturales como el granate y el pedernal. La escoria de cobre y níquel se fractura en partículas más pequeñas que pueden ser reutilizadas. Además de crear cantidades bajas de polvo y facilitando así la recuperación el material.

Muchas variables afectan la reutilización del abrasivo, tales como: la presión de aire, dureza de la superficie y la eficiencia del equipo.

1.6. Perfil de anclaje

Es la profundidad y la forma de la rugosidad máxima, que se obtiene cuando la superficie de un material es impactado con un abrasivo a presión. Dejando la superficie con un perfil completamente distinto del original.

La rugosidad mejora el anclaje del recubrimiento y adhesión de la pintura. Esta se obtiene por dos principales factores: el método de preparación de la superficie y el tipo de abrasivo seleccionado para la limpieza.

El fabricante es responsable de señalar el perfil de anclaje requerido por sus recubrimientos. Sin embargo, se recomienda un perfil de rugosidad entre 38 y 75 micrómetros (1,5 a 3,0 mils).

Si la rugosidad es pobre, al aplicar capas gruesas del recubrimiento ésta no tendrá adhesión y puede ocurrir desprendimiento del sistema. Y si la rugosidad es muy grande y las capas son delgadas comparada con aquella, ésta no cubrirá completamente la superficie, desprotegiendo los picos más altos. Como regla general se considera que el perfil de rugosidad debe ser de 15-20 por ciento del espesor total del sistema aplicado.

Tabla III. **Perfiles de anclaje que se obtienen según la granulometría de la arena sílice**

PERFIL DE ANCLAJE µm (mils)	ARENA SÍLICA (malla)
25,4 (1)	30/60
38,1 (1,5)	16/35
50,8 (2)	16/35
63,4 (2,5)	10/35
63,4-101,6 (3-4)	10/20

Fuente: Manual de recubrimientos para metal, SIKA, 2008.

1.6.1. Rugosidad

La rugosidad depende de la condición original del acero, de la intensidad y duración del arenado, así como del abrasivo utilizado. Cuando se chorrea acero que no presenta picadura ni herrumbre puede comprobarse que la distancia desde las crestas a los valles es bastante menor que el tamaño de las partículas del abrasivo.

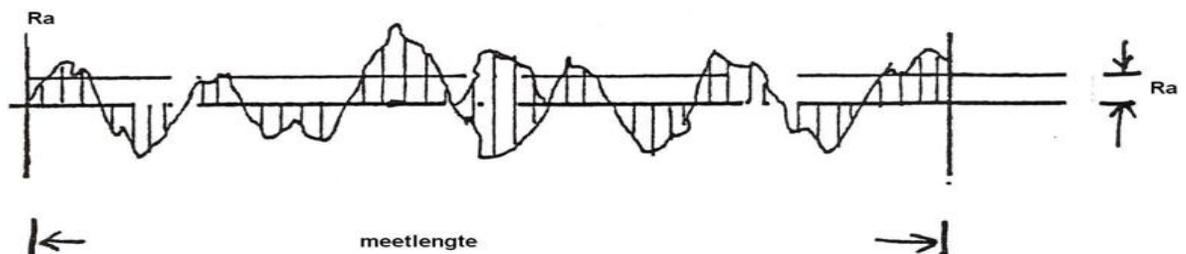
En algunos casos, la amplitud es solamente 1/10 del diámetro de las partículas. Esto se aplica porque los picos formados inicialmente se van reduciendo por el impacto continuo.

Los parámetros usados para definir la rugosidad son: Ra, Rt y Rz.

- Parámetro de rugosidad Ra

Este perfil de superficie se define como el promedio de los valores absolutos de la desviación de la línea central base de medición en una muestra longitudinal.

Figura 1. Medición de rugosidad Ra

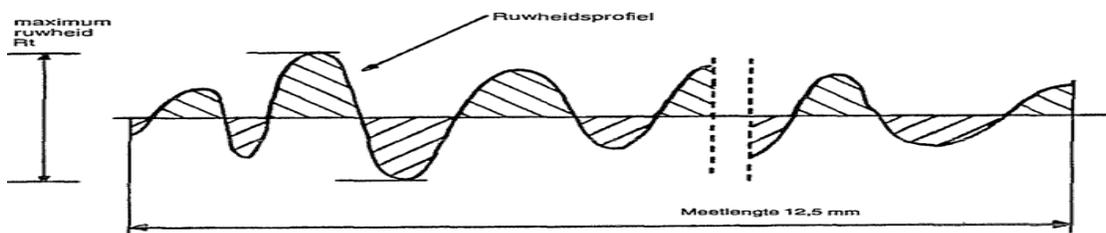


Fuente: www.iim.com.mx/pdf/.../curso_preparacion_de_superficies_v3.ppt. Consulta: agosto de 2011.

- Parámetro de rugosidad R_t

Este perfil de superficie se define como la distancia del pico más alto al valle más bajo de la muestra, tomando como referencia una línea horizontal imaginaria que los divide por igual.

Figura 2. **Medición de rugosidad R_t**

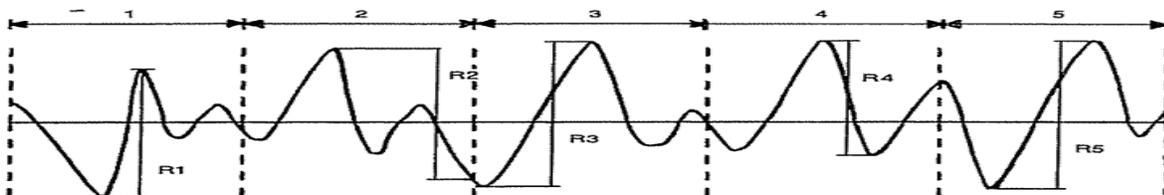


Fuente: www.iim.com.mx/pdf/.../curso_preparacion_de_superficies_v3.ppt. Consulta: agosto de 2011.

- Parámetro de rugosidad R_z

Este perfil de superficie se define como el promedio de las distancias máximas entre picos y valles adyacentes de la muestra.

Figura 3. **Medición de rugosidad R_z**



Fuente: www.iim.com.mx/pdf/.../curso_preparacion_de_superficies_v3.ppt. Consulta: agosto de 2011.

$$Rz = \frac{Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + \dots + Zn}{n}$$

Donde:

Rz = parámetro de rugosidad

Zn = distancia del pico más alto al valle más bajo de la muestra

n = número de medidas tomadas

1.6.2. Medición del perfil de superficie de acero limpiada con chorro norma ASTM D 4417-84, SSPC AB-1

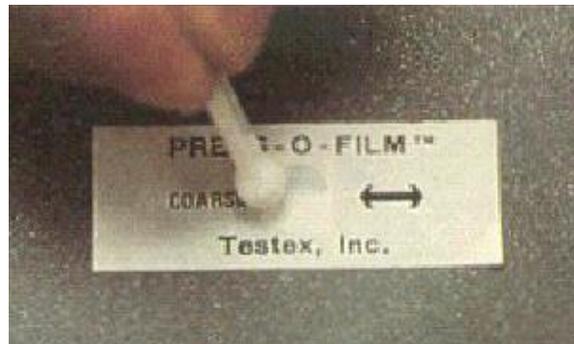
Al realizar la prueba de perfil de superficie de acero limpiada con *sandblasting*, se debe abarcar un área de 0,61 metro x 0,61 metro x 4 milímetros (2 pie x 2 pie x ¼ pulgada) en una placa de acero suave (acero con concentraciones de carbono entre el 0,15 y el 0,25 por ciento, llamado también acero dulce). La cual debe tener una condición A del grado de corrosión (ver inciso 1.9.1.2.1.) y se debe lograr una limpieza con chorro abrasivo SSPC-SP 10 grado cercano a blanco (ver inciso 1.9.1.1.4.). La voladura se hará con una boquilla de diámetro de 9,5 milímetros (3/8 pulgada) boquilla venturi # 6; con una presión de boquilla de 670 ± 35 kilo pascales (95 ± 5 psi). El chorro abrasivo se aplicará a una distancia de 0,61 ± 0,15 metro (24 ± 6 pulgadas) de la superficie, en un ángulo de 75 a 105 grados.

Se debe medir el perfil de superficie en un mínimo de cinco puntos, de acuerdo con el Método C de prueba estándar para la medición de campo del perfil de superficie de chorro de arena en acero de la norma ASTM D 4417.

Método C

Se debe utilizar una cinta especial que contiene de un lado una espuma comprimible y del otro una película de plástico uniforme no comprimible, tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4. **Cinta de réplica adherida a la superficie arenada**



Fuente: www.cppq.com.pe/novedades_infvir8.htm. Consulta: agosto de 2011.

Procedimiento del ensayo:

- Seleccione el rango de cinta correcta para medir el perfil: gruesa, de 0 a 50 micrómetros y extra-gruesa, de 40 a 115 micrómetros.
- Retire el papel encerado y coloque la cinta sobre la superficie preparada con la cara de espuma hacia abajo.
- Sostenga la cinta con firmeza en la superficie y frote una porción circular (aproximadamente 6,5 milímetros de diámetro) con una herramienta de pulido hasta que aparezca un color gris uniforme.

- Retire la cinta y colóquela entre el yunque de un micrómetro de resorte. Medir el grosor de la cinta (de espuma comprimida y no comprimible película de plástico combinado). Reste el espesor de la lámina de plástico no compresible para obtener el perfil de la superficie.
- Medir el perfil en un número de puntos suficiente para caracterizar la superficie. En cada lugar hacer tres lecturas y determinar la media. Luego determinar la media de todas las localizaciones y determinar con ello el perfil de la superficie.

Los métodos con microscopio óptico sirven como método de referencia para la medición de perfiles de superficie. Las denominaciones del perfil de profundidad se basan en el concepto de perfil de media máxima, este valor se determina por un promedio de un número determinado (generalmente 20) del pico más alto al valle más bajo mediante mediciones realizadas en el campo de observaciones con un microscopio de medición estándar. Esto se hace debido a la evidencia que el rendimiento de los revestimientos en un área pequeña está principalmente influenciado por las características más altas de la superficie en esa área y no por la rugosidad media.

1.7. Equipo utilizado en el en el proceso de limpieza *sandblasting*

De acuerdo a la movilidad y capacidad del equipo utilizado en el proceso de limpieza *sandblasting*, estos se pueden clasificar en tres tipos diferentes. Los cuales se detallan a continuación:

- Equipo portátil de explosión

Los sistemas móviles de chorro abrasivo seco, normalmente son impulsados por un compresor de aire de diesel. El compresor proporciona un gran volumen de aire a presión a la tolva, que se utiliza para permitir que una cantidad ajustable de arena se introduzca en la línea de arena principal. Sistemas de limpieza totalmente equipados con frecuencia se encuentran montados en semi remolques de tractores, que permiten movilidad y facilitan el transporte de un lugar a otro. Los componentes principales son:

- Las toberas, que son de material cerámico o de aleaciones de muy alta resistencia. Para resistir la abrasión que el paso de la arena le produce. Existen distintos tamaños o picos de toberas para proyectar la arena.
- Mangueras para alta presión y adecuada longitud para facilitar la tarea desde la posición más alejada del compresor (que requiere de aire limpio) y desde la tolva.
- Compresor.
- Una tolva o columna para la arena, donde por gravedad y arrastre de aspiración, la arena se desplaza hasta la tobera.

En la limpieza en húmedo, el abrasivo se introduce en una corriente de agua a presión u otro líquido. El chorro húmedo a menudo se utiliza en aplicaciones donde se requiere una generación mínima de polvo.

Figura 5. **Equipo portátil de *sandblasting***



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; junio de 2011.

- **Gabinete de explosión**

Es esencialmente un sistema de circuito cerrado que permite al operador limpiar la pieza y reciclar el abrasivo. Por lo general, consta de cuatro componentes: la contención (gabinete), el sistema de limpieza con chorro abrasivo, el sistema de reciclado de abrasivo y la recolección de polvo.

El operador puede controlar el proceso de *sandblast* desde el exterior de la cabina. Colocando los brazos en los guantes unidos a los agujeros del armario y observando a través de una ventana. Hay tres sistemas que se utilizan típicamente en un armario de explosión:

- Un sistema de limpieza del sifón llamado también sistema de aspiración de aire forzado.

- En un sistema de explosión a presión.
- Armarios húmedos de explosión. Se utiliza normalmente cuando el calor producido por la fricción en la limpieza en seco podría dañar la pieza.

Figura 6. **Gabinete de *sandblasting***



Fuente: www.en.wikipedia.org/wiki/Abrasive_blasting#Equipment. Consulta: febrero de 2011.

- **Sala de explosión**

Es una versión más grande de un gabinete de explosión y el operador trabaja dentro de la habitación. Una sala de explosión consta de tres componentes: la estructura de contención, el sistema de limpieza con chorro abrasivo y el colector de polvo.

En la mayoría de habitaciones de explosión hay sistemas de reciclaje que va desde el barrido manual a mecanizado del abrasivo.

1.8. Normas de seguridad en el proceso de limpieza *sandblasting*

Se deben practicar las siguientes reglas, sobre todo cuando se trabaja en recintos confinados. Por ejemplo: interiores de tanques, lugares subterráneos, interior de edificaciones y otros. Algunas de estas reglas pertenecen a la norma ASTM E 1132 (Práctica estándar para los requisitos de salud relacionados con la exposición ocupacional al polvo de cuarzo).

- Regla 1. Pantallas y carpas de protección

Pantallas y carpas de protección para sectorizar la zona de trabajo y evitar la disipación en el área del polvo de arena residual.

- Regla 2. Proveer suficiente ventilación al lugar de trabajo

Mantener ventilación suficiente del sector de trabajo, especialmente en recintos cerrados, confinados o poco accesibles, esto permitirá una renovación constante del aire contaminado evitando riesgos de intoxicación, explosión o incendio. Mantener dicha ventilación durante toda la tarea.

- Regla 3. Buena iluminación del sitio

Mantener ventilación suficiente del sector de trabajo, especialmente en recintos cerrados, confinados o poco accesibles.

- Regla 4. Usar equipo eléctrico blindado

Equipos eléctricos inadecuados o en mal estado son de riesgo inminente en las tareas. Se debe dar un especial cuidado a los equipos de iluminación, por la temperatura que desarrollan y por ser particularmente frágiles.

- Regla 5. Evitar chispas por electricidad estática

Se debe evitar cualquier posibilidad de chispas provocadas por electricidad estática. La acumulación de electricidad estática por falta de conexiones a tierra de los equipos o ropa del personal que puede producir chispas por descarga.

- Regla 6. Contar con extinguidor de incendios

Para responder de manera rápida a cualquier eventualidad que se pueda presentar en el área de trabajo.

- Regla 7. No permitir personas solas en el área de riesgo

Siempre se debe trabajar en equipo de dos o más personas en presencia de un supervisor que se encuentre fuera del área directa de trabajo, pero bajo su alcance visual.

- Regla 8. Orden y aseo

El mantener el área de riesgo despejada, aseada y limpia antes y después del trabajo de *sandblast*, permite la evacuación en caso de intoxicación, accidente o situación de emergencia.

- Regla 9. Señalización

Mantener una señalización adecuada del área, indicando la prohibición de fumar y el peligro de incendio o explosión; y prohibiendo además el ingreso al área de personal no autorizado.

- Regla 10. Capacitación y educación de los empleados

Todos los trabajadores expuestos o potencialmente expuestos a polvo de cuarzo respirable serán informados en un lenguaje apropiado de los riesgos, las consecuencias de la exposición, los procedimientos de emergencia, los métodos apropiados para el uso seguro y las precauciones para minimizar la exposición.

La información requerida deberá ser registrada en una hoja de datos de seguridad o en una forma similar y se mantendrán en sus archivos, de fácil acceso para los empleados.

- Regla 11. Todo personal debe usar el equipo de seguridad adecuado

El no utilizar los equipos de seguridad atenta directamente contra la salud y seguridad del personal que trabaja en labores de *sandblast*.

- Las gafas de seguridad que cubren toda la superficie del ojo.
- Un respirador diseñado para uso con equipos de alta presión de chorro de arena.
- Compresor de aire de gran capacidad y alta presión. Para suministrar de aire al trabajador y evitar la inhalación del polvo de arena que puede dañar los pulmones.

- Filtro purificador de aire
Elimina polvo, humedad y vapores de aceite de la línea de alimentación de aire del operario, generados por el compresor. Además de mantener al operador en una atmósfera fresca y cómoda.
- Escalafandra o capucha
Sistema de suspensión de la cabeza para permitir que el dispositivo se mueva con la cabeza del conductor.
Visor frontal muy amplio de policarbonato traslúcido con la lente reemplazable o protección de la lente.
Una manguera de alimentación de aire.
- La protección del oído
Orejeras o tapones para los oídos
- Ropa de protección
Guantes
Camisa o blusa de mangas largas
Overol
Calzado de seguridad, como botas con punta de acero

- Regla 12. Higiene personal

Los hábitos de higiene personal evitan el traslado de la contaminación por polvo de sílice cristalina respirable a otras dependencias de trabajo o incluso, al propio hogar, ya sea en la ropa, pelo, etc. Con el riesgo de atentar la salud de personas no expuestas profesionalmente a estas sustancias.

- No comer, beber o fumar en el lugar de trabajo.
- Antes de comer, beber o fumar, los trabajadores deben lavarse las manos y cara con agua y jabón. Además de quitarse la ropa de protección o de trabajo.

- Al salir de la zona de trabajo, deben de limpiar y quitar la ropa de protección.
- Disponer de lugares separados para guardar la ropa de protección o de trabajo de la ropa limpia u otras prendas personales.
- Al finalizar la jornada de trabajo, los trabajadores expuestos deben asearse, ducharse si es necesario, y utilizar ropa limpia antes de abandonar el trabajo.
- Prohibición de llevarse la ropa de protección y el calzado de trabajo a su domicilio.

Es de vital importancia también tomar en cuenta el clima atmosférico en que se va a desarrollar el trabajo, ya que ello implica otras medidas de seguridad para el personal.

1.8.1. Importancia de las normas de seguridad en el proceso de limpieza *sandblasting*

Las operaciones de limpieza mediante chorro abrasivo pueden presentar riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores sino se siguen las normas de seguridad adecuadas.

Se debe tener especial cuidado al realizar trabajo de limpieza con *sandblast*, ya que el simple uso de cualquier abrasivo puede presentar peligros graves para los operadores. El material de vuelo puede ser también un abrasivo para la piel y llegar a provocar heridas. Se pueden sufrir quemaduras, debido a las proyecciones (con la piel o las lesiones de los ojos), caídas por caminar en superficies resbalosas provocado por los residuos esparcidos en el suelo, la exposición a polvos peligrosos, agotamiento por calor, la creación de una atmósfera explosiva, y la exposición al ruido excesivo.

Por lo tanto es importante protegerse con ropa de trabajo adecuada, tener protección de oídos, ojos y un respirador con filtro. Además de mantener el orden y aseo en el área de trabajo.

Se debe cuidar la maquinaria y equipo cercano a donde se trabaja. El polvo de silicio (uno de los abrasivos más usados) es conductor eléctrico; por lo tanto si no se protegen o sacan del lugar las máquinas existentes en el entorno es posible que se dañen los motores y otros elementos de accionamiento hidráulico. Por lo tanto es importante colocar pantallas y carpas de protección para sectorizar la zona de trabajo y evitar la disipación en el área del polvo de arena residual.

Hay ciertos materiales abrasivos que por sí mismos ponen en verdadero peligro a los operadores. Tal es el caso de la arena de sílice, uno de los abrasivos más utilizados. La arena de sílice es muy frágil, por lo que se rompe con rapidez y crea grandes cantidades de polvo, dejando sílice libre en el ambiente. Después de la inhalación constante de este polvo puede provocar una enfermedad profesional, irreversible llamada silicosis; lo que hace extremar los requerimientos de seguridad y que ha provocado la prohibición del uso de la arena como abrasivo en la mayoría de los países tecnológicamente avanzados.

Las partículas de sílice son invisibles al ojo humano y el cuerpo humano es incapaz de expulsarlas. Estas partículas penetran en los alvéolos pulmonares y el tejido conectivo, anulando de forma gradual la capacidad pulmonar y la capacidad para oxigenar la sangre. Los síntomas incluyen disnea (dificultad respiratoria o falta de aliento) que, a medida que la enfermedad avanza, se produce incluso mientras se descansa. Tos grave, taquipnea (aumento de la frecuencia respiratoria por encima de los valores normales) fatiga, pérdida del apetito, pérdida de peso, dolores en el pecho,

fiebre, sudores nocturnos, oscurecimiento gradual de las uñas. Esto supone un esfuerzo adicional para el corazón que provoca, finalmente, la muerte.

Además las personas que padecen de silicosis son especialmente susceptibles a la tuberculosis y otras complicaciones pulmonares.

De ahí la gran importancia de utilizar un respirador con filtro purificador de aire.

No solamente el operador expuesto corre peligro sino también su familia, debido a las partículas impregnadas en la ropa que lleva a su casa. También las personas que viven cerca de donde se realiza este trabajo pueden estar expuestas a altos niveles de asbesto.

De ahí la gran importancia de utilizar ropa de trabajo y escalafandra o capucha.

1.9. Normas de la Sociedad de los Revestimientos Protectores por sus siglas en inglés –SSPC- (The Society for Protective Coatings)

Fundada en 1950 en Estados Unidos como el Consejo de Pintura de Estructuras de Acero. En 1997 el nombre fue cambiado a la Sociedad de los Revestimientos Protectores. SSPC se centra en la protección y preservación de estructuras de hormigón, acero, industriales, marinas y de las superficies mediante el uso de alto rendimiento de los revestimientos protectores. Es una de las principales organizaciones Internacionales que han normado los grados de preparación; y además es una de las normas de mayor utilización en toda América Latina.

Otra importante organización es la Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión por sus siglas en inglés -NACE- (National Association of Corrosion Engineers) en la cual los grados de preparación tienen similitud con los establecidos por la SSPC.

Las normas definen la terminación deseada, es decir, el grado de granallado a alcanzar. La metodología utilizada se basa en la comparación de la superficie tratada con el patrón de la norma, que consiste en fotografías y descripción de la misma.

1.9.1. Clasificación de las normas de preparación para superficies metálicas

Internacionalmente se ha normalizado la preparación de las superficies metálicas ferrosas, especificados por el SSPC y la NACE de acuerdo al método de limpieza.

Tabla IV. Clasificación de normas por método y grado de preparación

NORMA	MÉTODO	GRADO
SSPC-SP-1	Con solvente	
SSPC-SP-2	Herramienta manual	
SSPC-SP-3	Herramienta mecánica	
SSPC-SP-4	Con flama	
SSPC-SP-5, NACE-1	Chorro abrasivo	Metal blanco
SSPC-SP-6, NACE-3	Chorro abrasivo	Comercial
SSPC-SP-7, NACE-4	Chorro abrasivo	Rápido
SSPC-SP-8	Química	
SSPC-SP-9	Agentes atmosféricos	
SSPC-SP-10, NACE-2	Chorro abrasivo	Casi blanco

Fuente: elaboración propia.

Estas normas se utilizan mundialmente como guía para preparación de superficies metálicas ferrosas y se detallan en la tabla anterior.

1.9.1.1. Normas de limpieza con chorro abrasivo para superficies metálicas

La inspección de la preparación de superficie consiste en un análisis visual, donde por lo general se utilizan placas metálicas estandarizadas de la NACE o de la SSPC. El grado de limpieza se determina mediante una comparación visual de los estándares y el metal tratado.

Es importante resaltar que cuando se utilizan los estándares visuales el resultado no tiene que ser exacto al de la ilustración que da la norma. Toda superficie una vez granallada puede diferir en su aspecto y color conforme el tipo de abrasivo utilizado y del metal base limpiado.

Además de las placas estandarizadas también existen fotografías, estandarizadas por la norma SSPC-VIS 1 Guía de Fotografías de Referencia para Superficies de Acero Preparadas por Soplado Abrasivo Seco.

El principal uso que se da a estas fotografías es complementar las normas escritas de preparación de superficies. Las normas escritas son los medios principales que determinan la conformidad de los requerimientos para el arenado. Las fotografías no se deberán usar como un sustituto para las normas escritas.

1.9.1.1.1. Norma de la Sociedad de los Revestimientos Protectores por sus siglas en inglés –SSPC-SP 5 Limpieza con chorro abrasivo grado metal blanco

El grado de metal blanco consiste en una limpieza de manera tal que la superficie presentará un color gris blanco uniforme y metálico, ligeramente rugoso que proporciona un perfil de anclaje que permita la mejor adherencia a los recubrimientos. Sin embargo, el color de la superficie ya limpia puede ser afectado por el tipo de abrasivo utilizado.

- **Aplicación**

Se utiliza en ambientes muy corrosivos, donde las condiciones son extremadamente severas, con contaminantes ácidos, sales en solución, etc.

- **Resultados**

La superficie deberá estar libre de todas las impurezas hasta el 100 por ciento, tales como: oxidación, escama de laminación, pintura envejecida, productos de corrosión, residuos de soldadura, aceite, grasas, polvo, material extraño, cualquier material incrustante y otros contaminantes de la superficie. Además de permitir una excelente adherencia del recubrimiento.

1.9.1.1.2. Norma de la Sociedad de los Revestimientos Protectores por sus siglas en inglés –SSPC-SP 6 Limpieza con chorro abrasivo grado comercial

El grado gris comercial consiste en una limpieza en donde por lo menos dos tercios de cada pulgada cuadrada de superficie estará libre de todo residuo visible y el resto estará limitado a ligeras decoloraciones, ligeras sombras o ligeros residuos de escama de laminación, óxido o materias extrañas. La superficie no quedará uniformemente limpia ni del mismo color.

- **Aplicación**

Se utiliza generalmente en zonas donde es poco común la limpieza de superficies y donde el ambiente no es corrosivo.

- **Resultados**

La superficie deberá estar libre en por lo menos dos tercios de cada pulgada cuadrada de todas las impurezas, tales como: aceite, grasa, polvo, suciedad, escama de laminación, material extraño, oxidación y pintura antigua mal adherida.

En la otra tercera parte de cada pulgada cuadrada de superficie se permite que la pintura en buen estado e incrustaciones permanezcan adheridas aún después de la preparación de la superficie. Esta parte queda con pequeñas sombras, rayas y decoloraciones causadas por manchas de herrumbre y pintura. Si la superficie tiene picaduras, puede encontrarse herrumbre y resto de

pintura en el fondo de las mismas. Estos restos deben verse sólo como de distinta coloración.

1.9.1.1.3. Norma de la Sociedad de los Revestimientos Protectores por sus siglas en inglés –SSPC-SP 7 Limpieza con chorro abrasivo grado ráfaga

El grado de ráfaga consiste en una limpieza muy superficial de manera tal que la superficie presentará algunas escamas de laminación, óxido y pintura que no han sido eliminados por estar fuertemente adheridos. Por lo tanto, todos los residuos sueltos serán removidos completamente.

- Aplicación

Se utiliza cuando el ambiente es lo menos corrosivo posible y en donde la condición de oxidación en la superficie es muy poco severa.

- Resultados

La superficie deberá estar libre de todas las impurezas, tales como: aceite, grasa, polvo, suciedad, escama de laminado suelta, óxido suelto y capas de pintura desprendidas; pero no de la pintura, óxido y residuos que estén firmemente adheridos. Este proceso de limpieza permite eliminar una cantidad mínima de contaminantes.

La superficie debe presentar una ligera rugosidad para suministrar una buena adhesión y unión del recubrimiento.

1.9.1.1.4. Norma de la Sociedad de los Revestimientos Protectores por sus siglas en inglés –SSPC-SP 10 Limpieza con chorro abrasivo grado cercano a blanco

El grado de metal cercano a blanco consiste en una limpieza de manera tal que la superficie presentará un color gris claro. Se deben eliminar las sombras de oxidación visibles, escamas de laminación, pintura y material extraño y todo residuo visible en un 95 por ciento.

La diferencia entre una limpieza con chorro abrasivo grado metal blanco y cercano a blanco, radica en el tiempo empleado para pintar. Ya que el metal es atacado por el medio ambiente y pasa a ser grado cercano a blanco en poco tiempo.

- **Aplicación**

Se utiliza en ambientes de elevada humedad, ambientes marinos o corrosivos, atmósferas contaminadas por productos químicos. Se lo utiliza para condiciones de oxidación regulares a severas.

- **Resultados**

La superficie deberá estar libre de todas las impurezas en un 95 por ciento de cada pulgada cuadrada, tales como: aceite, grasa, polvo, suciedad, oxidación visible, escama de laminación, pintura, productos de corrosión, y material extraño. Se permiten ligeras sombras, rayas o ligeras decoloraciones causadas por manchas de corrosión, óxidos de laminación o pequeñas

manchas de restos de pintura antigua que representará el 5 por ciento de cada pulgada cuadrada de superficie restante.

1.9.1.2. Grados de corrosión

Los materiales de acero antes de la preparación de la superficie pueden encontrarse en cuatro diferentes condiciones de oxidación: A, B, C o D. Para superficies originales (antes de que tenga lugar ningún trabajo de limpieza) según la norma SSPC- VIS 1.

1.9.1.2.1. Condición A

Superficie de acero con la capa de laminación intacta en toda la superficie y prácticamente sin corrosión. Se presenta en acero recién laminado en condiciones atmosféricas bastante severas.

Figura 7. Fotografía de condición A

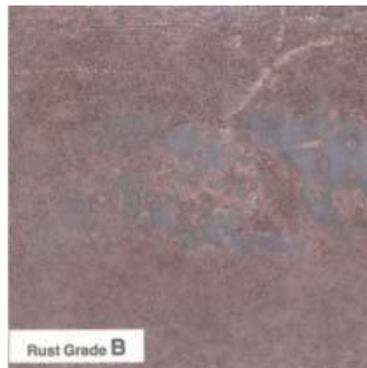


Fuente: norma SSPC- VIS 1.

1.9.1.2.2. Condición B

Superficie de acero con principio de corrosión y en la cual la capa de laminación comienza a despegarse. Superficie cubierta con escama de laminación con óxido. Se presenta en acero después de 2 - 3 meses de exposición en condiciones atmosféricas bastante severas.

Figura 8. **Fotografía de condición B**



Fuente: norma SSPC- VIS 1.

1.9.1.2.3. Condición C

Superficie de acero en donde la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión o la capa de laminación puede ser eliminada por raspado, pero en la cual no se han formado en gran escala cavidades visibles. Superficie cubierta con óxido y picaduras no visibles a simple vista. Se presenta en acero después de 1 año de exposición en condiciones atmosféricas bastante severas.

Figura 9. **Fotografía de condición C**



Fuente: norma SSPC- VIS 1.

1.9.1.2.4. Condición D

Superficie de acero en donde la capa de laminación ha sido eliminada por la corrosión y se han formado en gran escala cavidades visibles. Superficie cubierta con óxido y picaduras visibles. Se presenta en acero después de 3 años de exposición en condiciones atmosféricas bastante severas.

Figura 10. **Fotografía de condición D**



Fuente: norma SSPC- VIS 1.

2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LA ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL

2.1. Definición de la escoria de mata de níquel

“La escoria es un residuo impuro, desecho formado fundamentalmente por (serpentina, magnetita y goethita) hierro, magnesio, silicio, aluminio y magnesio, que aparece en el proceso de producción de la combinación de hierro y níquel y que al fundirse como metal desecha una escoria granulada.”¹

2.2. Localización de los bancos de escoria de mata de níquel

Los bancos se encuentran en el municipio de El Estor, departamento de Izabal en la planta CGN -Compañía Guatemalteca de Níquel- ubicada en la Finca Setal, a un costado de la ruta nacional 7E. En el lugar se encuentran depositados aproximadamente 1 191008 toneladas de material, producción de tres años correspondientes a los años 1977 al 1980 por la antigua compañía Exploraciones y Explotaciones Mineras Izabal S.A. (EXMIBAL).

¹ ALVAREZ MURALLE, Luis Mariano. Evaluación de la escoria de ferroníquel como agregado fino para concreto. p. 21.

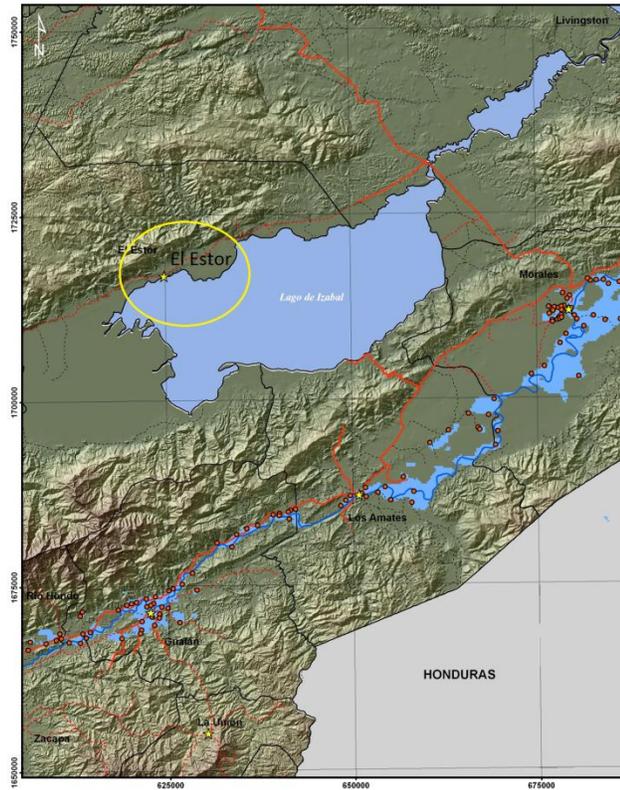
Figura 11. **Planta CGN ubicada en el municipio El Estor, Izabal**



Fuente: Google Earth. Consulta: octubre de 2011.

El departamento de Izabal cuenta con cinco municipios. Esta limitado en el norte con el departamento de Petén, Belice y el Mar Caribe; al sur con el departamento de Zacapa; al este con la República de Honduras; y al oeste con el departamento de Alta Verapaz.

Figura 12. Localización del municipio El Estor, Izabal.



Fuente: www.infoiarna.org.gt/MIG-DESASTRES/Temas/Temas_agatha.htm. Consulta: julio de 2011.

2.3. Características físicas y propiedades mecánicas de la escoria de mata de níquel

Los resultados que se presentan en este capítulo fueron realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII- en el 2009, como parte de un trabajo de graduación.

2.3.1. Peso específico norma ASTM C 128-88

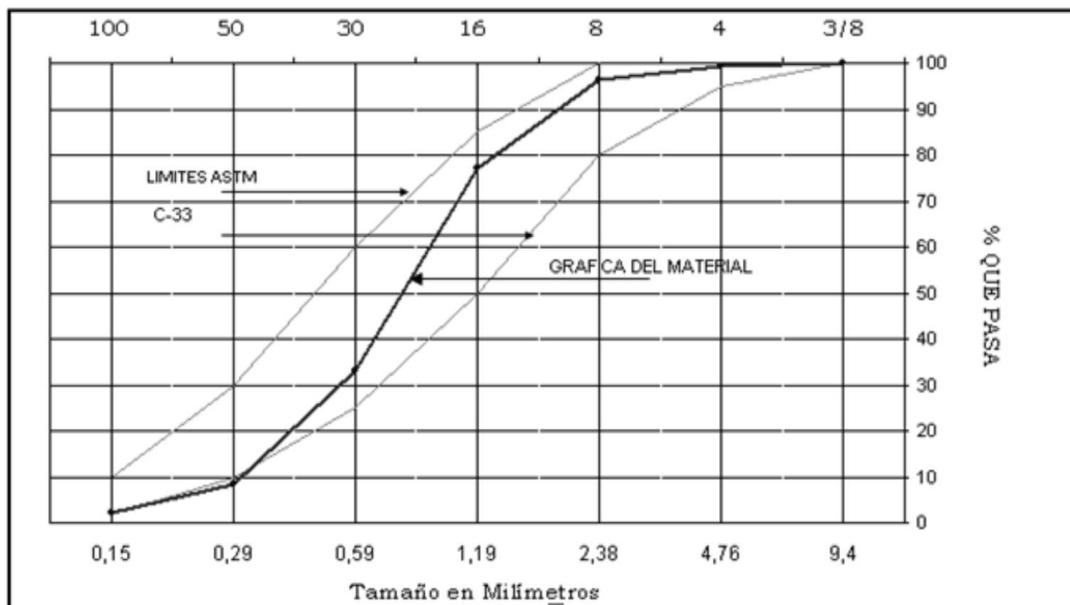
La escoria de mata de níquel tiene un peso específico de 2,88. Con esto se ve que cumple con la especificación de la norma SSPC-AB 1 especificaciones de abrasivos no. 1 Minerales y Escorias Abrasivas (*Mineral and Slag Abrasives*) donde establece como mínimo 2,5.

2.3.2. Granulometría norma ASTM C 136-84

La granulometría de la escoria de mata de níquel según la norma ASTM C 136-84, se detalla en la gráfica de la figura 13.

El módulo de finura de la escoria de mata de níquel es de 2,84.

Figura 13. Curva granulométrica de la escoria de mata de níquel



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección de Agregados, Concretos y Morteros.

Tabla V. **Porcentaje de escoria de mata de níquel que pasa en cada tamiz**

Tamiz No.	9,40	4,76	2,38	1,19	0,59	0,29	0,15
% Que pasa	100,00	99,24	96,26	77,22	32,92	8,22	2,33

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección de Agregados, Concretos y Morteros.

2.3.3. Peso unitario norma ASTM C 29-90

El peso unitario suelto de la escoria de mata de níquel es de 1 690,70 kilogramo por metro cúbico y el peso unitario compactado es de 1 750,50 kilogramo por metro cúbico, por lo que se clasifica como agregado fino de peso normal.

2.3.4. Porcentaje de vacíos norma ASTM C 138-81

El resultado de la prueba de porcentaje de vacíos, en la escoria de mata de níquel, según la norma ASTM C 138-81 obtenido en el 2009, mostro como resultado 39,21.

2.3.5. Porcentaje de absorción norma ASTM C 128-88

La escoria de mata de níquel posee un porcentaje de absorción de aproximadamente 13,83, teniendo como resultado un porcentaje alto de absorción.

2.3.6. Porcentaje que pasa tamiz 200 norma ASTM C 117-87

El porcentaje de finos que pasa a través del tamiz 200 para la escoria de mata de níquel fue de 0,25, por lo que cumple con los requisitos de la norma que especifica que los valores máximos oscilan entre un 2 o 3.

2.3.7. Materia orgánica norma ASTM C 40-84

La escoria de mata de níquel presento según la escala del colorímetro una cantidad de materia orgánica de 0,0, por lo que, se clasifica como una arena libre de contaminación orgánica. Lo que es muy bueno, ya que el abrasivo debe estar libre de contaminación porque puede llegar a contaminar la superficie que se desea limpiar.

2.4. Propiedades químicas de la escoria de mata de níquel

Los resultados de las propiedades químicas que se presentan a continuación fueron realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII- en el 2009, como parte de un trabajo de graduación.

2.4.1. Desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado norma ASTM C 88-83

La escoria de mata de níquel está expuesta a un desgaste referente a su graduación de un 5,74 por ciento cuando se utiliza sulfato de sodio para el desgaste.

Tabla VI. **Porcentaje de desgaste según el ensayo de bondad o desgaste por sulfato de sodio**

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de desgaste	Desgaste ref. a graduación
PASA	RETENIDOS					
No. 100 (149 mm)						
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	8,22	100,00	98,50	1,50	0,12
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	24,70	100,00	98,50	1,50	0,37
No. 16 (1,19 mm)	No. 30 (595 mm)	44,30	100,00	94,50	5,50	2,44
No. 8 (2,38 mm)	No. 16 (1,19 mm)	19,04	100,00	88,80	12,00	2,28
No. 4 (4,76 mm)	No. 8 (2,38 mm)	2,98	100,00	86,00	14,00	0,42
3/8" (9,52 mm)	No. 4 (4,76 mm)	0,76	-----	-----	14,00	0,11
TOTALES		100,00	500,00	-----	48,50	5,74

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección de Agregados, Concretos y Morteros.

2.4.2. Composición química

Los resultados de la determinación de la composición química en porcentaje de óxido de hierro, óxido de aluminio, óxido de calcio y óxido de magnesio por medio de métodos volumétricos y gravimétricos, se presentan en la tabla VII.

Tabla VII. **Composición química de la escoria de mata de níquel**

MUESTRA	PARAMETRO ANALIZADO	RESULTADO %
Escoria de ferróníquel	% Óxido de hierro (Fe_2O_3)	3,85
	% Óxido de aluminio (Al_2O_3)	<0,0024
	% Óxido de calcio (CaO)	<0,001
	% Óxido de magnesio (MgO)	<0,001

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección Química Industrial.

2.5. Antecedentes de los usos de la escoria de mata de níquel

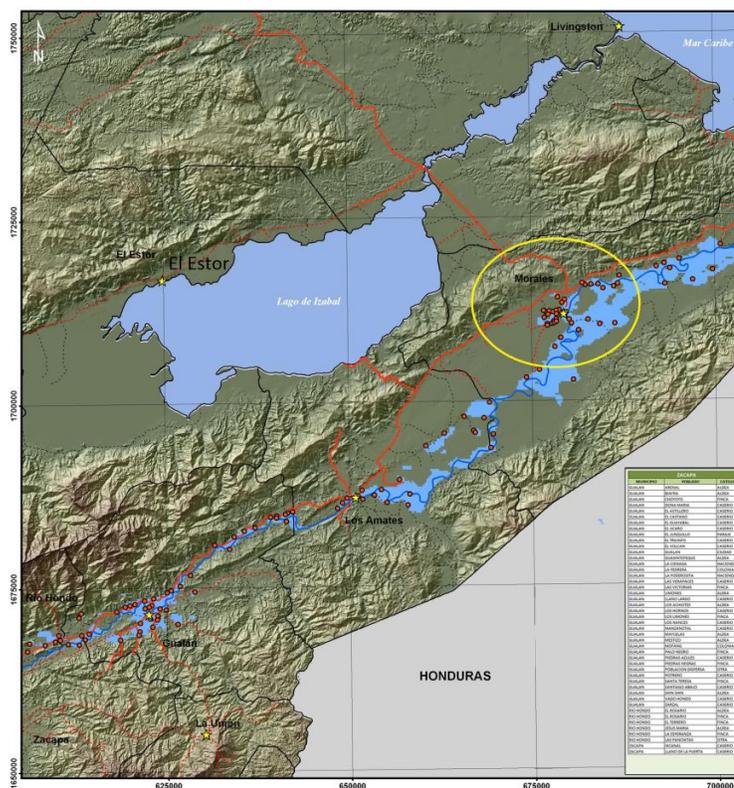
Se ha evaluado el uso de la escoria de mata de níquel como agregado fino para concreto y para morteros de albañilería y acabados. Encontrándose los resultados satisfactorios en ambos casos. Además también se ha investigado su uso en baldosas decorativas de concreto, en la fabricación de ladrillo tayuyo en forma artesanal, en fabricación de block artesanal y en la elaboración de adobe.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

3.1. Localización del banco de arena

El banco de arena se encuentra en el municipio de Morales, departamento de Izabal. La extracción de la arena se realiza en el río Motagua, tal como lo muestra la figura 14.

Figura 14. Localización del municipio Morales, Izabal



Fuente: www.infoiarna.org.gt/MIG-DESASTRES/Temas/Temas_agatha.htm. Consulta: julio de 2011.

3.2. Ensayos aplicados a la arena de río y escoria de mata de níquel

Los ensayos aplicados a los materiales abrasivos (arena del río Motagua en Morales, Izabal y escoria de mata de níquel) para determinar las propiedades físicas y características mecánicas, las propiedades químicas y mineralógicas; se describen a continuación:

3.2.1. Propiedades físicas y características mecánicas de la arena de río

Entre los ensayos realizados para obtener las propiedades físicas y características mecánicas de la arena del río Motagua en Morales, Izabal se tienen:

3.2.1.1. Peso específico norma ASTM C 128-88

La densidad aparente se refiere a la densidad relativa del material sólido que forman las partículas constituyentes no incluyendo el espacio de los poros dentro de las partículas que es accesible al agua.

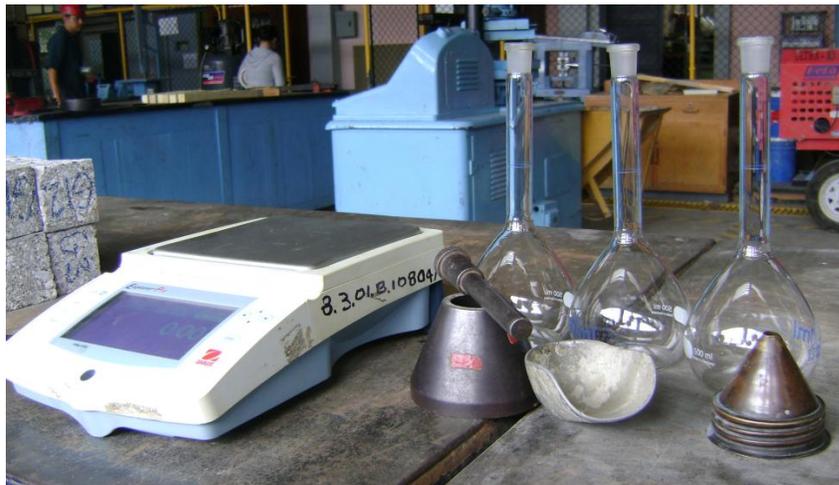
La gravedad específica es la característica que generalmente se utiliza para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados, incluyendo concreto de Cemento Portland, concreto bituminoso, y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas sobre la base del volumen absoluto.

La gravedad específica expresa el peso de la partícula de un agregado con relación a la de un volumen igual de agua.

Equipo

- Balanza. Con capacidad de 1 kilogramo o más, sensible a 0,1 gramo o menos.
- Matraz aforado con capacidad de 500 mililitros.
- Molde. Un molde de metal en forma de cono.
- Cucharón.

Figura 15. **Equipo utilizado en el ensayo de peso específico**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería; julio de 2011.

Procedimiento

- Se obtiene una muestra representativa del material, la cual debe de estar en condición seco- saturado.
- Se toma el peso a los tres matraces en la balanza.
- Se pesa cada matraz con 200 gramos de arena en las condiciones antes mencionadas.
- Se les adiciona 500 mililitros agua hasta donde indica la línea de aforo a los matraces que previamente contenían solamente arena; y se les saca

las burbujas de aire agitando el matraz y dándole pequeños golpes con la palma.

- Se registra el peso del matraz más la arena más el agua.
- Se retira el contenido del matraz, y se lavan. Luego se les agrega 500 mililitros agua hasta donde indica la línea de aforo; y se registra el peso del matraz más agua.

3.2.1.2. Granulometría norma ASTM C 136-84

Este ensayo cubre la determinación de la distribución del tamaño de partícula de los agregados finos y gruesos por tamizado.

Una muestra de arena seca de peso conocido se separará a través de una serie de mallas de aberturas progresivamente menores para determinar la distribución de los tamaños de las partículas.

La granulometría del agregado afecta directamente el perfil de anclaje que se obtiene después de la limpieza de *sandblast*, ya que un mismo abrasivo con diferente granulometría puede presentar resultados desiguales.

Dentro de este ensayo se determina el módulo de finura, el cual caracteriza el grosor o finura del agregado. La definición del módulo de finura requiere la determinación de la suma de los porcentajes acumulados que son retenidos en la batería de tamices, y que este resultado se divida entre 100.

Equipo

- Balanza con precisión de 0,1 gramo ó 0,1 por ciento de la carga de prueba.
- Tamices

- Tamizadora
- Cepillo de cerdas de metal
- Horno capaz de mantener una temperatura uniforme de 100 ± 5 grados centígrados.

Figura 16. **Equipo utilizado en el ensayo de granulometría**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería; julio de 2011.

Procedimiento

- Se obtiene una muestra representativa del material.
- Se seca la muestra en el horno.
- Se arma la batería de tamices en orden de tamaños de aberturas decrecientes, de arriba hacia abajo, los tamices utilizados son #4, #8, #16, #30, #50, #100 y fondo.
- Se coloca la muestra de 500 gramos en el tamiz superior y se tamiza durante diez minutos.
- Determinar el peso del material retenido en cada tamiz.

3.2.1.3. Peso unitario norma ASTM C 29-90

Este ensayo determina la densidad aparente entre las partículas de los agregados a granel en condición compactado o suelta. El cual puede usarse para determinar las relaciones masa/volumen para hacer las conversiones.

El peso unitario representa el peso por volumen unitario (más correctamente, la masa por volumen unitario o densidad).

Equipo

- Balanza. Una balanza o báscula con exactitud de 0,1 por ciento de la carga de ensayo en cualquier punto del rango de uso, graduada por lo menos a 0,05 kilogramos.
- Varilla de apisonado. Una varilla recta y con una punta semiesférica de acero de 16 milímetros de diámetro y aproximadamente 600 milímetros de largo.
- Recipiente cilíndrico de metal.
- Cucharón.

Figura 17. **Equipo utilizado en el ensayo de peso unitario**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería; julio de 2011.

Procedimiento de peso unitario suelto

- Se obtiene una muestra representativa del material.
- Se toma el peso del recipiente o tara.
- Se llena la tara hasta rebosar descargando la arena a una altura menor a 50 milímetros por encima de la parte superior del recipiente. Se debe evitar en lo posible la segregación de las partículas.
- Se nivela la superficie.
- Se toma el peso del material más la tara, este procedimiento se realiza tres veces para obtener un promedio.
- El peso unitario suelto será el peso del material entre el volumen del recipiente o tara.

Procedimiento de peso unitario compactado

- Se obtiene una muestra representativa del material.

- Se toma el peso del recipiente o tara.
- Se coloca la arena en la tara por tercios y se varilla cada capa del agregado dando 25 golpes con la varilla de apisonado, distribuidos uniformemente sobre la superficie.
- Se nivela la superficie.
- Se toma el peso del material más la tara, este procedimiento se realiza tres veces para obtener un promedio.
- El peso unitario compactado será el peso del material entre el volumen del recipiente o tara.

3.2.1.4. Porcentaje de vacíos norma ASTM C 138-81

La cantidad de compactación, la forma del agregado y la textura superficial, así como las cantidades de los tamaños respectivos de partículas, es decir, la graduación del agregado influyen en la cantidad de espacio entre las partículas del agregado o vacíos. Un agregado graduado es el que contiene cantidades apropiadas de partículas progresivamente más finas con el fin de acomodarse adecuadamente y evitar espacios.

El porcentaje de vacíos se obtiene dividiendo el peso específico entre el peso unitario compactado.

3.2.1.5. Porcentaje de absorción norma ASTM C 128-88

La absorción de un agregado se expresa arbitrariamente en términos del agua que entre en los poros o capilares durante un período de remojo de 24 horas y se calcula sobre la base del peso del agregado secado al horno.

Equipo

- Balanza. Con capacidad de 1 kilogramo o más, sensible a 0,1 gramo o menos.
- Tara metálica.
- Horno capaz de mantener una temperatura uniforme de 100 ± 5 grados centígrados.
- Cucharon.
- Molde cónico.
- Apisonador.

Figura 18. **Equipo utilizado en el ensayo de porcentaje de absorción**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería; julio de 2011.

Preparación de la muestra

La muestra debe de encontrarse en condición seca-saturada, para lo cual:

- Se toma una muestra representativa de arena, aproximadamente 1 kilogramo.

- Se sumerge la muestra en agua durante 24 horas.
- Pasadas las 24 horas, se quita el exceso de agua evitando la pérdida de material fino.
- Se expande la muestra sobre la superficie plana no absorbente, para asegurar una condición homogénea.
- Se deja secar el material uniformemente hasta que los granos están sueltos.
- Luego se realiza la prueba de cono de humedad superficial. Para lo cual, se coloca una porción del agregado en el molde cónico, se sostiene firmemente el cono y se apisona 25 veces dejando caer el apisonador desde una altura de 0,5 centímetros de forma distribuida, se nivela y se elimina la arena suelta de la base, por último se levanta verticalmente el molde cónico.
Si la humedad superficial está todavía presente, el agregado fino retendrá la forma moldeada; entonces se debe seguir secando la muestra y repetir el proceso hasta que cumpla con la condición. Si al retirar el molde la muestra se desmorona es porque no existe humedad libre; entonces se ha alcanzado la condición del agregado seco saturado.

Procedimiento

- Luego que el material se encuentra en estado seco saturado, se pesan 500 gramos de arena.
- Se coloca el material en el horno por 24 horas a temperatura constante.

- Pasadas las 24 horas, se retira el material del horno.
- Se pesa nuevamente la muestra después de haberse evaporado toda la humedad. Con esto se calcula el porcentaje de absorción.

3.2.1.6. Porcentaje que pasa tamiz 200 norma ASTM C 117-87

Esta prueba determina la cantidad de material fino o de grano pequeño que se encuentra en la muestra. Esto se determina por medio del porcentaje de material que pasa por el tamiz 200.

Equipo

- Balanza. Con capacidad de 1 kilogramo o más, sensible a 0,1 gramo o menos.
- Horno capaz de mantener una temperatura uniforme de 100 ± 5 grados centígrados.
- Tamiz No. 40 y No. 200
- Tara metálica
- Cucharón

Procedimiento

- Se obtiene una muestra representativa del material.
- Se seca la muestra al horno y se pesan 500 gramos de material.
- Por decantación se lava la muestra pasándolo por los tamices No. 40 y No. 200.
- El material que queda retenido en el tamiz No. 200 se coloca en un recipiente. Y se deja secar la muestra en el horno por 24 horas.
- Al término de las 24 horas, se pesa nuevamente la muestra y se calcula el porcentaje de material retenido.

Figura 19. **Tamizado en húmedo**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería; julio de 2011.

3.2.1.7. Materia orgánica norma ASTM C 40-84

Esta prueba de laboratorio señala la presencia de compuestos orgánicos nocivos en la arena natural. Muestra la cantidad de contaminación en una escala de colores, llamado colorímetro.

Equipo

- Probeta plástica
- Solución de hidróxido de sodio (3 por ciento)
- Colorímetro

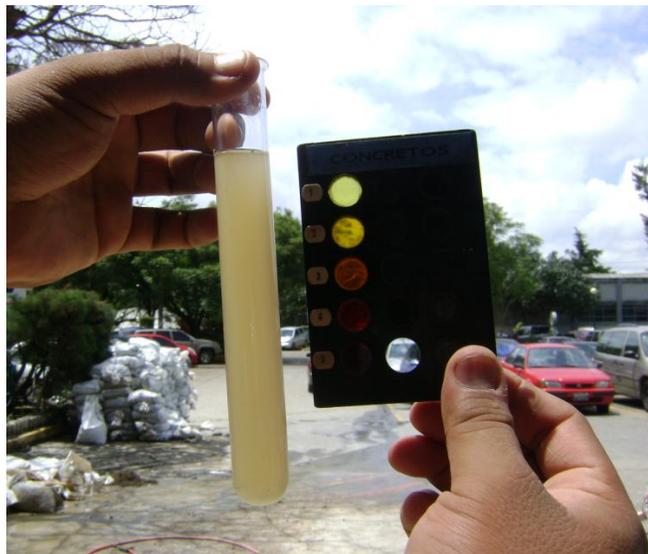
Procedimiento

- Se obtiene una muestra representativa del material.
- Se pesa material seco que debe estar entre 130 a 150 gramos, y se colocan en una probeta plástica.

- Se prepara solución de hidróxido de sodio (3 por ciento) con 200 mililitros de agua con 6 gramos de soda cáustica.
- Se le añade a la probeta con material la solución al 3 por ciento de hidróxido de sodio en agua, hasta que se humedezca el material y se completen 200 mililitros de solución.
- Se agita vigorosamente la probeta y se deja reposar durante 24 horas.
- Al completar el tiempo de reposo se retira la solución y se compara el color de la solución con el colorímetro.

La escala de colorímetro presenta cinco valores diferentes que asciende juntamente con la contaminación presentada en el material. Siendo el valor tres el estándar.

Figura 20. **Determinación del contenido de contaminación orgánica con el colorímetro**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería; julio de 2011.

3.2.1.8. Contenido total de humedad norma ASTM C 566-89

El método de prueba estándar para el contenido total de humedad por secado de los agregados (arena de río y escoria de mata de níquel) determina del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de arena de río y la escoria de mata de níquel por secado.

Equipo

- Balanza. Con capacidad de 1 kilogramo o más, sensible a 0,1 gramo o menos.
- Horno capaz de mantener una temperatura uniforme de 100 ± 5 grados centígrados.
- Tara metálica
- Cucharon

Figura 21. Pesaje de las muestras de material



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería; julio de 2011.

Procedimiento

- Se obtiene una muestra representativa del material.
- Se pesa la muestra, evitando la pérdida de humedad en la medida de lo posible.
- Se seca la muestra completamente en la tara por medio de una fuente de calor, teniendo cuidado para evitar la pérdida de las partículas. En nuestro caso se utilizó un horno.

La muestra está completamente seca, cuando hay una pérdida de al menos 0,1 por ciento adicional en el peso.

- Se pesa la muestra seca después de que se haya enfriado lo suficiente para no dañar la balanza.
- Se calcula el contenido de humedad total.

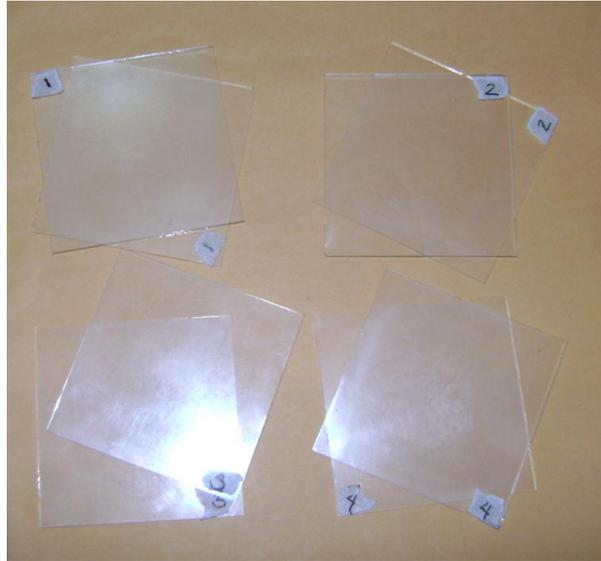
3.2.1.9. Dureza relativa de *Mohs* norma SSPC-AB 1

La dureza del material abrasivo deberá ser de un mínimo de 6 en la escala de *Mohs* para poder ser utilizado en el proceso de *sandblast*, según la norma SSPC- AB 1.

Equipo

- Microscopio de baja potencia
- Portaobjetos de vidrio

Figura 22. Vidrio utilizado en el ensayo de dureza de *Mohs*



Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas; agosto de 2011.

Procedimiento:

- Examinar la arena bajo el microscopio de baja potencia (10x) y si hay granos de diferentes colores o grupos de minerales, seleccionar unos pocos granos de cada uno. (identificados por el análisis petrográfico, ver inciso 3.2.2.1.).
- Colocar en sucesión los granos para poderlos diferenciar entre dos portaobjetos de vidrio.
- Aplicar presión, y lentamente se mueve diapositiva sobre la otra con un movimiento de vaivén durante 10 segundos.
- Examinar la superficie de cristal y si esta rayado, el material deberá ser considerado como que tiene una dureza mínima de 6 en la escala de *Mohs*. Si más del 25 por ciento de los granos, en número no raya la superficie del vidrio, el abrasivo no cumple con esta especificación.

3.2.2. Propiedades químicas y mineralógicas de la arena de río

Entre los ensayos realizados para obtener las propiedades mineralógicas de la arena del río Motagua en Morales, Izabal y propiedades químicas de la escoria de mata de níquel; se tienen:

3.2.2.1. Análisis petrográfico de la arena de río norma ASTM C 295-85

La práctica estándar para el examen petrográfico de los agregados tiene como objetivo, determinar las características físicas y químicas de los materiales que se pueden observar por métodos petrográficos y que inciden en el rendimiento del material en su uso. Describir y clasificar los componentes de la muestra. Determinar las cantidades relativas de los componentes de la muestra, que es esencial para una evaluación adecuada de la muestra.

La identificación de los componentes de una muestra es por lo general uno de los pasos inevitables para reconocer las propiedades que se esperan que influyan en el comportamiento del material en su uso previsto.

Completar los exámenes petrográficos para fines particulares y para investigar los problemas en particular puede requerir un examen de los agregados o de los componentes seleccionados por medio de procedimientos adicionales, tales como el análisis de difracción de rayos X, análisis térmico diferencial, espectroscopia de infrarrojo, u otros, en algunos casos, estos procedimientos son más rápidos y más precisos que los métodos microscópicos.

Equipo

- Microscopio estereoscópico
- Pinzas

Figura 23. **Microscopio estereoscópico o lupa binocular con zoom**



Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas; agosto de 2011.

Procedimiento:

- La muestra debe estar seca y tamizada según el método C136 con el fin de proporcionar muestras de cada tamiz. (Ver inciso 3.2.1.2.).
- Cada fracción de tamiz se examina por separado, empezando por el de mayor tamaño disponible. Al menos 150 partículas de cada fracción de tamiz deben ser identificados y contados con el fin de obtener resultados fiables.

- Se debe examinar la muestra de cada fracción de tamiz, y los componentes deben ser identificados y contados, utilizando el microscopio estereoscópico. Es conveniente para extender la muestra en un recipiente de vidrio de fondo plano y manipular los granos con una pinza y aguja de disección.
- En partículas menores al tamiz No. 30 se debe reducir la muestra en 4 ó 5 gramos, verificando que el número de partículas no sea menor a 150. El volumen suele ser inferior a una cucharadita a rasa.

3.2.2.2. Análisis de sílice

La técnica utilizada para determinar el contenido de sílice en porcentaje de masa de la muestra es espectrometría de absorción atómica.

Espectrometría de absorción atómica

La absorción atómica es una técnica capaz de detectar y determinar cuantitativamente la mayoría de los elementos de la Tabla Periódica.

En química analítica, la espectrometría de absorción atómica es una técnica muy útil, ya que determina la concentración de un elemento metálico en una muestra determinada. Puede utilizarse para analizar la concentración de más de 62 metales diferentes en una solución.

Este método consiste en la medición de las especies atómicas por su absorción de una cantidad de energía (es decir, luz de una determinada longitud de onda). La especie atómica se logra por atomización de la muestra.

3.2.2.3. Desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado norma ASTM C 88-83

El método de prueba estándar para el desgaste de los agregados por el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio estima la solidez de los agregados cuando se someten a la acción de la intemperie en una aplicación de concreto o de otra índole. Esto se logra mediante la inmersión repetida en solución saturada de sulfato de sodio o magnesio seguida por secado al horno para deshidratar parcialmente o totalmente la sal precipitada en los espacios de poros permeables. La fuerza interna expansiva, derivada de la rehidratación de la sal en la reinmersión, simula la expansión del agua al congelarse.

Equipo

- Balanza con precisión de 0,1 gramo o 0,1 por ciento de la carga de prueba.
- Tamices #8, #16, #30, #50 y #100
- Tamizadora
- Taras metálicas
- Cucharón
- Horno capaz de mantener una temperatura uniforme de 100 ± 5 grados centígrados.

Figura 24. **Equipo utilizado en el ensayo de desgaste por sulfato de sodio**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería; julio de 2011.

Procedimiento:

- Realizar la granulometría (ver inciso 3.2.1.2.) del material.
- Una vez clasificado el material, se pesa una cantidad mayor de la necesaria para ser lavado y secado en el horno durante 24 horas. El propósito de que el material sea lavado es para, quitar las impurezas que actúan como polarizado y no dejan penetrar la solución.
- Preparar cinco capsulas con material, cada capsula debe contener 100 gramos tal como se describe en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Preparación del material para el ensayo de desgaste por sulfato de sodio**

Cápsula	Tamaño del tamiz	Peso de material retenido, gr.
1	#8	100
2	#16	100
3	#30	100
4	#50	100
5	#100	100

Fuente: elaboración propia.

- El proceso consiste en cinco ciclos. En donde cada ciclo consiste en sumergir la muestra en la solución preparada de sulfato de sodio la cual debe de cubrir por lo menos media pulgada sobre la superficie de éste durante 18 horas. Después de la inmersión, se retira la solución y se lleva la muestra al horno por cuatro horas. Al finalizar el secado del material se deja enfriar a temperatura ambiente, completando las 24 horas de proceso y concluyendo así con el ciclo. Se repite el proceso de inmersión y secado alternados hasta completar los cinco ciclos.
- Después de finalizar el último ciclo, se lava el material y seca en el horno por 24 horas.
- Tamizar el agregado fino sobre el mismo tamiz por el que fue retenido antes de la prueba y pesa el material retenido en cada tamiz.
- Calcular el desgaste total del material.

3.2.2.4. Conductimétrica de la contaminación iónica soluble en agua de la arena de abrasivos de voladura norma ASTM D 4940-89

El método de prueba estándar para el análisis de conductimetría de la contaminación iónica soluble en agua de abrasivos de voladura describe un procedimiento para la evaluación rápida de abrasivos para la presencia de contaminación iónica mediante la determinación de la concentración total de contaminación iónica soluble en agua por medio de una prueba de conductividad.

Subproductos abrasivos fabricados a partir de escorias que son enfriados por aire o apagado con agua pura, por lo general contienen bajas concentraciones de materiales iónicos al igual que las minas de minerales abrasivos. Sin embargo, las escorias apagas con agua de mar o agua contaminada, contienen altas cantidades de material iónico al igual que la arena a la orilla del mar. Esta contaminación del abrasivo se puede transferir a las superficies de acero que se limpian por el método de *sandblast*, en el que pueden acelerar la corrosión.

Este método proporciona un valor que indica la concentración de iones solubles en agua total de acuerdo con su movilidad electrolítico. Por lo tanto, proporciona una indicación del potencial de corrosión iónica. Según la norma SSPC-AB 1 especificaciones de abrasivos no. 1 Minerales y Escorias Abrasivas (*Mineral and Slag Abrasives*) el valor de conductividad no será superior a 1000 microsiemen.

Equipo

- Vasos de precipitación

- Barras de agitación
- Embudo
- Conductímetro
- Celda de conductividad
- Termómetro: que cubra el intervalo de 23 a 27 grados centígrados, con una aproximación de 0,1 grado centígrado.

Procedimiento

- Lavar los vasos de precipitación, barras de agitación, y el embudo con agua reactivo hasta que las pruebas demuestren que el agua de enjuague tiene una conductividad de 5,0 microsiemen por centímetro o menos.
- Añadir 300 milímetros de agua a 300 milímetros material abrasivo, y se agita durante 1 minuto con una varilla de vidrio. Se deja reposar durante 8 minutos y luego se agita nuevamente durante 1 minuto.
- Filtrar una cantidad suficiente de líquido sobrenadante para las pruebas, desechando los primeros 10 milímetros del filtrado. La cantidad de líquido sobrante filtrado deberá ser suficiente para cubrir la celda.
- Enjuagar la celda de conductividad en el agua reactiva hasta que el agua de enjuague tenga una limpieza de 5,0 microsiemen por centímetro o menos.
- Enjuagar la celda de conductividad dos o tres veces con el filtrado, después se determina la conductancia a 25 grados centígrados de acuerdo con las instrucciones de funcionamiento del instrumento. Se utilizan porciones sucesivas de la muestra hasta obtener un valor constante.
- Calcula la conductividad específica del abrasivo de acuerdo a:

$$C_s = C_m \times K_{25}$$

Donde:

C_s = conductividad del abrasivo (microsiemen por centímetro)

C_m = conductancia, medida a 25 grados centígrados (microsiemen)

K_{25} = constante de la celda

3.2.2.5. Contenido de aceite norma SSPC-AB 1

La muestra, en el agua, cuando se realiza la prueba de conductimétrica de la contaminación iónica soluble en agua de la arena de abrasivos de voladura según la norma ASTM D 4940-89 (ver inciso 3.2.2.4.), no deberá tener ninguna presencia de hidrocarburos, ya sea en la superficie del agua o como una emulsión en el agua, cuando se examina visualmente después de reposar durante 30 minutos.

3.3. Proceso de limpieza por el método de *sandblasting* norma SSPC-AB 1

Al realizar la prueba de limpieza por medio de *sandblast* en placas de acero laminado en caliente de carbono o de otro tipo de acero estructural plano la norma SSPC-AB 1 especificaciones de abrasivos no. 1 Minerales y Escorias Abrasivas (*Mineral and Slag Abrasives*) sugiere que se debe limpiar una superficie de 1,9 a 7,4 metros cuadrados (20 a 80 pies cuadrados) y se debe de lograr una limpieza SSPC-SP 10 (limpieza con chorro abrasivo grado cercano a blanco). El perfil de superficie debe estar comprendido entre 51 a 76 micrómetros (2,0 a 3,0 milésimas de pulgada), al medirlos con cinta réplica (ver inciso 1.6.2.).

Estos paneles deberán estar recubiertos durante 4 horas por chorro abrasivo, o antes que la herrumbre superficial sea visible, lo que ocurra primero.

Los paneles preparados deben estar cubiertos con tres capas de pintura anticorrosiva (epoxi-poliamida). Los paneles deben ser curados por un mínimo de siete días a una temperatura mínima de 21 grados centígrados. Después de curado, los paneles serán marcados de tal manera que forman una cuadrícula, cada uno con una área de 0,09 metros cuadrados (1 pie cuadrado). Cada placa deberá contener un mínimo de 20 cuadros.

Cada tipo de abrasivo y el tamaño seleccionado (granulometría) se prueba utilizando una boquilla de diámetro de 9,5 milímetros (3/8 pulgada) boquilla venturi #6 según la sugerencia de la norma, sin embargo las pruebas se realizaron utilizando una boquilla de diámetro de 15,9 milímetros (5/8 pulgada). Operando con una presión en la boquilla de 655 ± 35 kilo pascales (95 ± 5 psi).

3.3.1. Análisis del material abrasivo en el proceso de *sandblasting*

Las pruebas de desempeño para determinar la tasa de limpieza de la superficie y de consumo del abrasivo se realizan según el procedimiento de limpieza por *sandblast* descrito en el inciso 3.3. Se debe registrar los siguientes datos: peso inicial de la tolva con el material abrasivo, peso final de la tolva con el material abrasivo, el peso del abrasivo utilizado, los metros cuadrados limpiados, y el tiempo necesario para realizar la prueba.

Con los datos obtenidos, se realizan los siguientes cálculos:

- Tasa de consumo de abrasivos: la tasa de consumo de abrasivo se determinará como el peso del abrasivo utilizado, dividido por el área limpia, y reportadas en kilogramo de abrasivo por metro cuadrado.

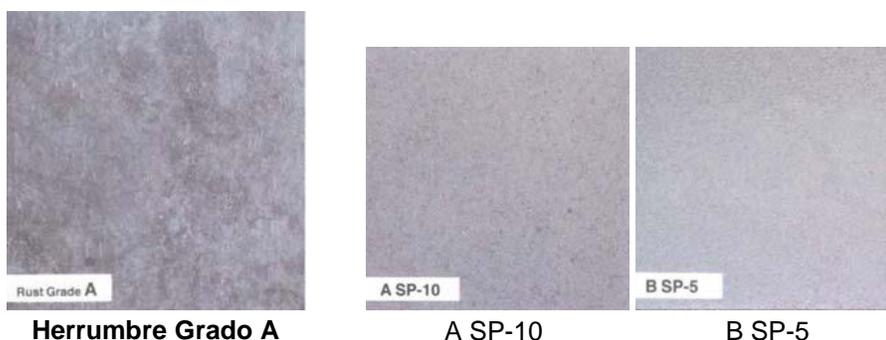
- Tasa de limpieza de la superficie: la tasa de limpieza de la superficie se determina como el área limpia, dividido por el tiempo necesario para la explosión y reportados en metros cuadrados limpiados por hora.

3.3.1.1. Inspección visual del grado de preparación de superficie norma SSPC VIS 1

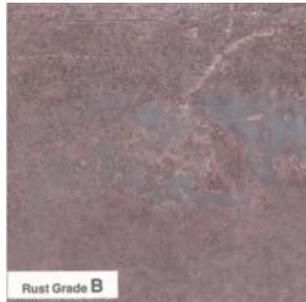
El procedimiento para determinar el grado de limpieza logrado en una superficie metálica mediante la comparación de fotografías, es:

- Seleccionar la fotografía de la condición que representa en forma más exacta la apariencia del acero que se va a limpiar. El acero a ser limpiado puede contener más de una condición inicial.
- Determinar el grado de limpieza que está especificado.
- Usar la figura 25 para determinar cuál fotografía representa la superficie acabada. Por ejemplo, si se parte de un grado de herrumbre B y se logra un grado de preparación SP 10 (grado cercano a blanco), el trabajo se define como B SP 10 y por ende hay que usar la fotografía B SP 10.
- Comparar la superficie preparada con la fotografía seleccionada para evaluar el grado de limpieza.

Figura 25. **Muestras de distintos grados de preparación de superficie**



Continuación de la figura 25.



Herrumbre Grado B



B SP-6



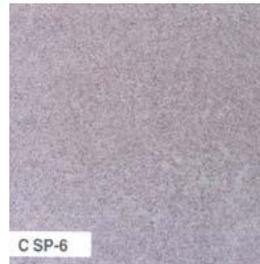
B SP-10



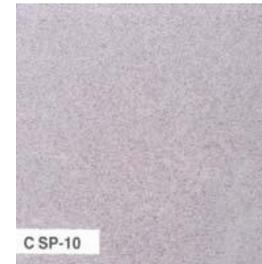
B SP-5



Herrumbre Grado C



C SP-6



C SP-10



C SP-5



Herrumbre Grado D



D SP-6



D SP-10



D SP-5

Fuente: norma SSPC- VIS 1.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. La arena de río como material abrasivo en el proceso de *sandblasting*

Los resultados obtenidos en los ensayos que determinan las propiedades físicas y características mecánicas, las propiedades químicas y mineralógicas de la arena del río Motagua en Morales, Izabal; se detallan a continuación.

4.1.1. Propiedades físicas y características mecánicas de la arena de río

Los resultados obtenidos en los ensayos que determinan las propiedades físicas y características mecánicas del banco de arena proveniente de Morales, Izabal, son:

4.1.1.1. Peso específico norma ASTM C 128-88

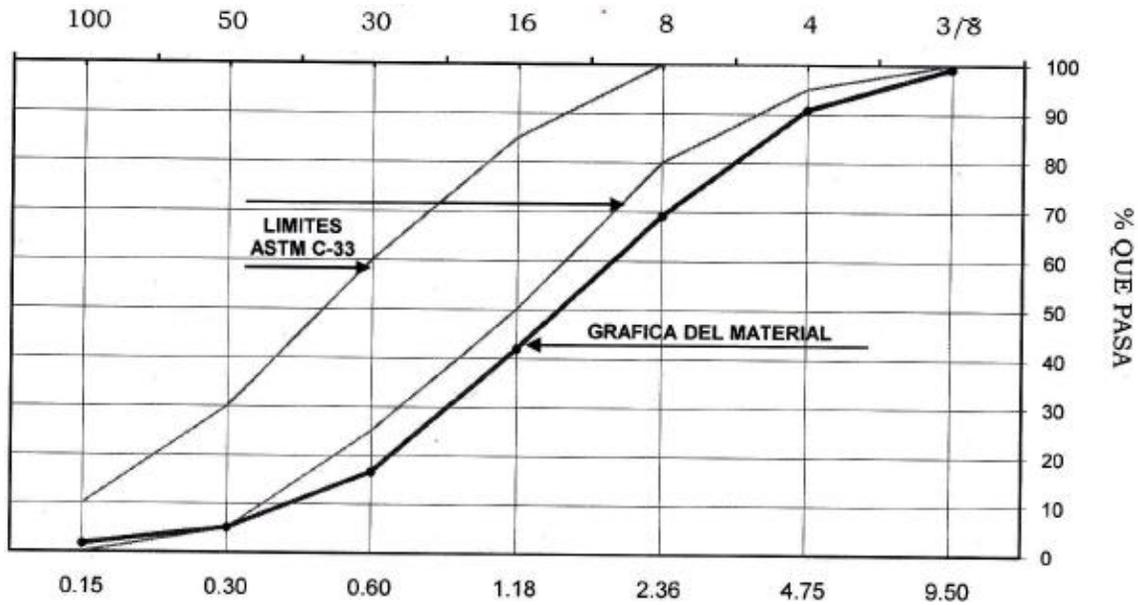
La arena de río tiene un peso específico de 2,61. Con esto vemos que cumple con la especificación de la norma SSPC-AB 1 especificaciones de abrasivos no. 1 Minerales y Escorias Abrasivas (*Mineral and Slag Abrasives*) donde establece como mínimo un valor de 2,5.

4.1.1.2. Granulometría norma ASTM C 136-84

Los resultados obtenidos en la granulometría de la arena del río Motagua según la norma ASTM C 136-83, se detallan en la gráfica de la figura 26.

El módulo de finura de la arena es de 3,75.

Figura 26. **Curva granulométrica de la arena**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección de Agregados, Concretos y Morteros; agosto de 2011.

Tabla IX. **Porcentaje de arena que pasa en cada tamiz**

Tamiz No.	9,50	4,75	2,36	1,19	1,18	0,30	0,15
% Que pasa	99,18	90,79	69,14	41,97	16,63	5,08	1,64

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección de Agregados, Concretos y Morteros; agosto de 2011.

4.1.1.3. Peso unitario norma ASTM C 29-90

El peso unitario suelto de la arena es de 1 609,80 kilogramo por metro cúbico y el peso unitario compactado es de 1 709,46 kilogramo por metro cúbico, por lo que se clasifica como agregado fino de peso normal.

4.1.1.4. Porcentaje de vacíos norma ASTM C 138-81

El resultado obtenido de la prueba de porcentaje de vacios en la arena del río Motagua en Morales, Izabal según la norma ASTM C 138-81, está en 34,38.

4.1.1.5. Porcentaje de absorción norma ASTM C 128-88

El resultado obtenido de la prueba de porcentaje de absorción en la arena del río Motagua en Morales, Izabal según la norma ASTM C 128-88, está en 3,50.

4.1.1.6. Porcentaje que pasa tamiz 200 norma ASTM C 117-87

El porcentaje de finos que pasa a través del tamiz 200 de la arena es de 5,64, por lo que se observa una cantidad grande de material fino presente en la muestra.

4.1.1.7. Materia orgánica norma ASTM C 40-84

La arena presento según la escala del colorímetro una cantidad de materia orgánica de 2, por lo que cumple con la norma ASTM C 40-84 porque el valor máximo permisible o estándar es 3.

4.1.1.8. Contenido total de humedad norma ASTM C 566-89

La arena posee un porcentaje de humedad de 2,80. El material abrasivo que se utilizará para realizar *sandblast* debe tener un contenido de humedad máximo de 0,5 por ciento de acuerdo a la norma SSPC-AB 1, por lo tanto no cumple con esta especificación.

4.1.1.9. Dureza relativa de *Mohs* norma SSPC-AB 1

El ensayo se realizo en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-.

En la tabla X, se muestra la cantidad de rayones producidos con un determinado número de partículas de la muestra de arena, y en la figura 27 se presenta el porcentaje de partículas que lograron rayar el vidrio clasificada de acuerdo a su tipo. Esta clasificación se realizo en el análisis petrográfico ver inciso 4.1.3.1.

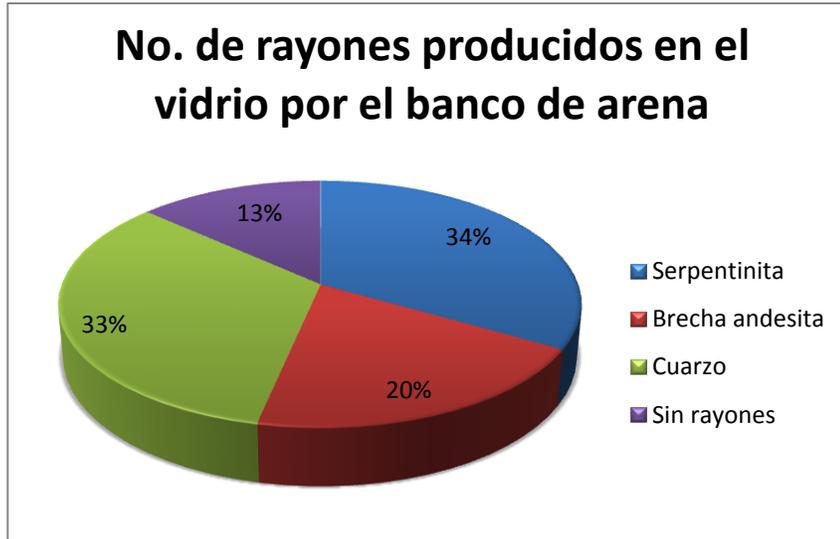
Tabla X. **Porcentaje de rayones según el ensayo de dureza de *Mohs***

Tipo	No. de partículas ensayadas	No. de rayones producidos en el vidrio
Serpentinita	5	5
Brecha andesita	5	3
Cuarzo	5	5
TOTAL	15	13
PORCENTAJE DE RAYONES		86,67%

Fuente: elaboración propia.

Para que el material abrasivo tenga una dureza de *Mohs* de 6 ó más las partículas abrasivas deben de rayar la superficie de vidrio en un 75 por ciento o más. Se puede observar que el 13 por ciento de la muestra de arena no logro rayar la superficie del vidrio, por lo tanto la arena tiene una dureza de *Mohs* de 6 ó mayor según la norma SSPC AB-1. Con lo cumple con la especificación de rayar el 75 por ciento o más de la superficie del vidrio.

Figura 27. **Gráfica del porcentaje de rayones según el ensayo de dureza de Mohs**



Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Propiedades químicas y mineralógicas de la arena de río

Los resultados obtenidos en los ensayos que determinan las propiedades químicas y mineralógicas del banco de arena proveniente del río Motagua en Morales, Izabal, son:

4.1.2.1. Análisis petrográfico de la arena de río norma ASTM C 295-85

El ensayo se realizó en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-.

En la tabla XI, se muestra la caracterización de partículas de cada tamiz de la muestra de arena, y en la tabla XII presenta el porcentaje de partículas que componen el agregado fino.

Tabla XI. **Conteo del tipo de partículas que componen el banco de arena**

Tipo	Número de partículas por tamiz					
	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
Serpentinita	95	61	54	60	43	28
Brecha andesita	26	99	82	67	8	9
Cuarzo	10	7	16	51	99	114
Carbón	1	0	0	0	0	0
Totales	132	167	152	178	150	151

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Porcentaje de partículas que componen el banco de arena**

Tipo	Porcentaje de partículas por tamiz					
	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100
Serpentinita	71,97	36,53	35,53	33,71	28,67	18,54
Brecha andesita	19,70	59,28	53,95	37,64	5,33	5,96
Cuarzo	7,58	4,19	10,53	28,65	66,00	75,50
Carbón	0,76	0	0	0	0	0
Totales	100	100	100	100	100	100

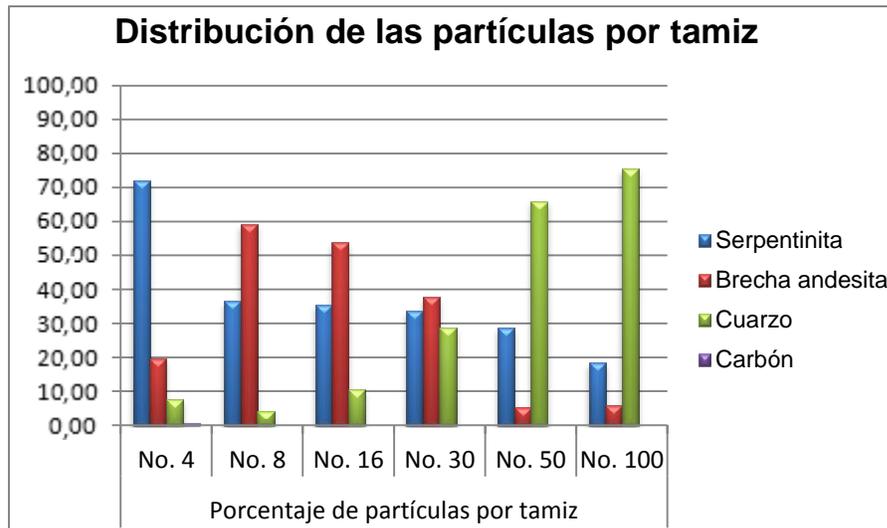
Fuente: elaboración propia.

Los minerales encontrados en la arena tal como lo muestra la tabla anterior, son:

- Las serpentinita: constituyen un grupo de minerales que se caracterizan por no presentarse en forma de cristales, de color verde, y con tonalidades variadas, claras y oscuras. Con una dureza 2 en la escala de *Mohs*, de tenacidad quebradiza y con una densidad de 2,6 gramos por centímetro cúbico.
- La brecha andesita: es una masa rocosa consistente, constituida por fragmentos de rocas de diferentes formas y tamaños de color gris oscuro o parda cristales con brillo vítreo. La densidad de las variedades compactas es aproximadamente 2,70 gramos por centímetro cúbico; son frecuentes las rocas porosas y vesiculosas.
- Cuarzo: compuesto de dióxido de silicio (también llamado sílice, SiO_2), siempre puro. Con un brillo vítreo en las caras normales y graso en las caras de exfoliación; de color variable según el medio. Con una dureza 7 de *Mohs* (capaz rayar los aceros comunes), de tenacidad quebradizo y con una densidad 2,65 gramos por centímetro cúbico.
- El carbón o carbón mineral es una roca sedimentaria de color negro, muy rica en carbono, utilizada como combustible fósil.

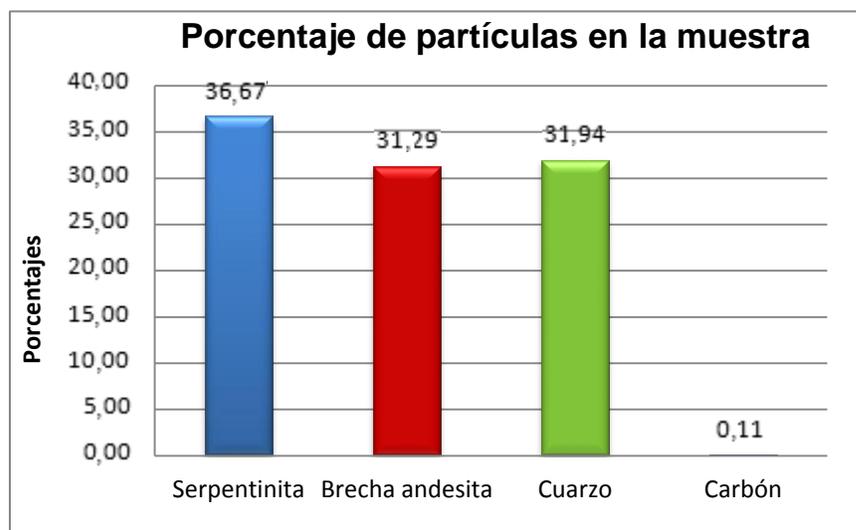
Para interpretar mejor los datos se presentan los resultados en los gráficos de las figura 28 y 29. El primer gráfico muestra la distribución de las partículas en cada tamiz. En el segundo se presentan los porcentajes de contenido total de la muestra.

Figura 28. **Distribución de los diferentes tipos de partículas del banco de arena**



Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Contenido promedio de los componentes del banco de arena**



Fuente: elaboración propia.

En la última gráfica (ver figura 29) se puede observar que el banco de arena, se encuentra conformado principalmente por serpentinita, brecha andesita y cuarzo, en orden sucesivo. La muestra también se encuentra integrada en una pequeña proporción por carbón, encontrado en la malla No. 4, y el cual no representa ni el uno por ciento del total de la muestra. Los resultados determinan la presencia de cuarzo (SiO_2) en un 31,94 por ciento que es la forma más común de sílice cristalina. Además de mostrar que la serpentinita y el cuarzo tienen una tenacidad quebradiza.

4.1.2.2. Análisis de sílice de la arena de río

El ensayo de contenido de sílice o dióxido de silicio (SiO_2) en porcentaje de masa se realizó en el Ministerio de Energía y Minas –MEM-. Realizado como complemento del ensayo de análisis petrográfico.

El contenido de sílice en la arena en porcentaje de masa según el ensayo de espectrometría de absorción atómica dio como resultado en forma elemental 23,70. El óxido calculado por estequiometría es de 50,71 SiO_2 .

Por lo que se clasifica como una arena de clase C, es decir, una arena sin restricciones sobre el contenido de sílice cristalina.

4.1.2.3. Desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado norma ASTM C 88-83

El banco de arena proveniente del río Motagua en Morales, Izabal está expuesto a un desgaste referente a su graduación de un 5,74 por ciento, cuando se utiliza sulfato de sodio para el desgaste

Tabla XIII. **Porcentaje de desgaste según el ensayo de bondad o desgaste por sulfato de sodio**

TAMAÑOS		Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
PASA	RETENIDOS					
3/8" (9,52 mm)	No. 4 (4,76 mm)	8,39	-----	-----	21,10	1,77
No. 4 (4,76 mm)	No. 8 (2,38 mm)	21,65	100,00	78,90	21,10	4,57
No. 8 (2,38 mm)	No. 16 (1,19 mm)	27,18	100,00	79,70	20,30	5,52
No. 16 (1,19 mm)	No. 30 (595 mm)	25,34	100,00	84,70	15,30	3,88
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	11,55	100,00	90,80	9,20	1,06
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	5,08	100,00	91,60	8,40	0,43
No. 100 (149 mm)		-----	-----	-----	-----	-----
TOTALES		99,18	500,00	-----	-----	17,22

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Sección de Agregados, Concretos y Morteros; agosto de 2011.

4.1.2.4. **Conductimétrica de la contaminación iónica soluble en agua de la arena de río norma ASTM D 4940-89**

El ensayo de conductividad se realizó en el Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, en la sección de Química Industrial.

La conductividad de la arena dio como resultado 270,1 microsiemen por lo que cumple lo especificado por la norma SSPC-AB 1 especificaciones de abrasivos no. 1 Minerales y Escorias Abrasivas (*Mineral and Slag Abrasives*) que indica que el valor de conductividad no será superior a 1000 microsiemen.

4.1.2.5. **Contenido de aceite norma SSPC-AB 1**

El ensayo de contenido de aceite se realizó en el Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, en la sección de Química Industrial.

El contenido de aceite de la arena dio negativo como resultado de la prueba realizada. Por lo tanto no contiene presencia de hidrocarburos, tal como lo especifica la norma SSPC-AB 1 especificaciones de abrasivos no. 1 Minerales y Escorias Abrasivas (*Mineral and Slag Abrasives*).

4.2. La escoria de mata de níquel como material abrasivo en el proceso de *sandblasting*

Los resultados obtenidos en los ensayos que determinan las propiedades físicas y químicas de la escoria de mata de níquel en El Estor, Izabal; se detallan a continuación.

4.2.1. Propiedades físicas de la escoria de mata de níquel

Los resultados obtenidos en los ensayos que determinan las propiedades físicas de la escoria de mata de níquel proveniente de El Estor, Izabal; son los siguientes:

4.2.1.1. Contenido total de humedad norma ASTM C 566-89

La escoria de mata de níquel posee un porcentaje de humedad de 3,43. El material abrasivo que se utilizará para realizar *sandblast* debe tener un contenido de humedad máximo de 0,5 por ciento de acuerdo a la norma SSPC-AB 1, por lo tanto no cumple con esta especificación.

4.2.1.2. Dureza relativa de *Mohs* norma SSPC-AB 1

El ensayo se realizo en el Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-.

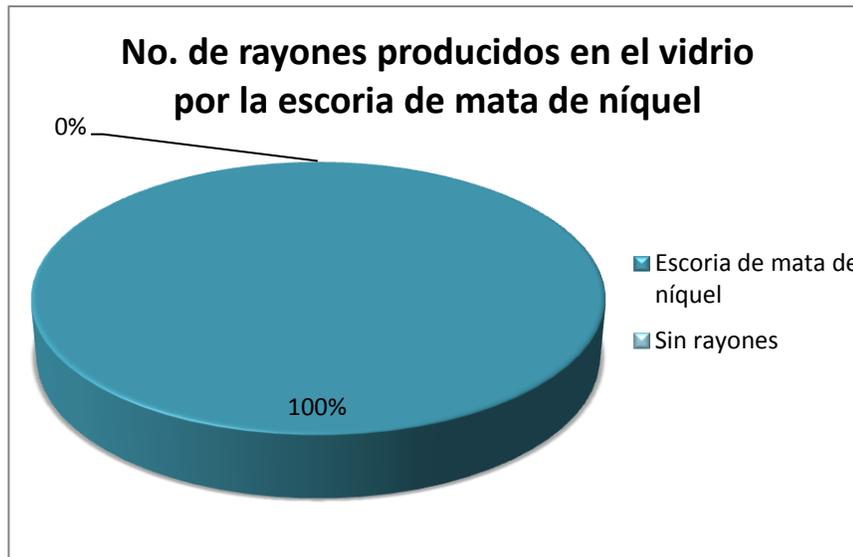
En la tabla XIV, se muestra la cantidad de rayones producidos con un determinado número de partículas de la muestra de escoria y en la figura 30 se presenta el porcentaje de partículas que lograron rayar el vidrio.

Tabla XIV. **Porcentaje de rayones según el ensayo de dureza de *Mohs***

Tipo	No. de partículas ensayadas	No. de rayones producidos en el vidrio
Escoria de mata de níquel	5	5
TOTAL	5	5
PORCENTAJE DE RAYONES		100%

Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Gráfica del porcentaje de rayones según el ensayo de dureza de Mohs**



Fuente: elaboración propia.

Para que el material abrasivo tenga una dureza de *Mohs* de 6 ó más las partículas abrasivas deben de rayar la superficie de vidrio en un 75 por ciento o más. Se puede observar que el 100 por ciento de la muestra de escoria logro rayar la superficie del vidrio, por lo tanto la arena tiene una dureza de *Mohs* de 6 ó mayor según la norma SSPC AB-1. Con lo cumple con la especificación de rayar el 75 por ciento o más de la superficie del vidrio.

4.2.2. Propiedades químicas de la escoria de mata de níquel

Los resultados obtenidos en los ensayos para determinar las propiedades químicas de la escoria de mata de níquel proveniente de El Estor, Izabal; son los siguientes:

4.2.2.1. Análisis de sílice de la escoria de mata de níquel

El ensayo de contenido de sílice o dióxido de silicio (SiO_2) en porcentaje de masa se realizó en el Ministerio de Energía y Minas –MEM-.

El contenido de sílice en la escoria de mata de níquel en porcentaje de masa según el ensayo de espectrometría de absorción atómica dio como resultado en forma elemental 23,28. El óxido calculado por estequiometría es de 49,80 SiO_2 .

Por lo se clasifica como un material abrasivo de clase C, es decir, un abrasivo sin restricciones sobre el contenido de sílice cristalina.

4.2.2.2. Conductimétrica de la contaminación iónica soluble en agua de la arena de río norma ASTM D 4940-89

El ensayo de conductividad se realizó en el Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, en la sección de Química Industrial.

La conductividad de la escoria de mata de níquel dio como resultado 142,5 microsiemen por lo que cumple lo especificado por la norma SSPC-AB 1 especificaciones de abrasivos no. 1 Minerales y Escorias Abrasivas (*Mineral and Slag Abrasives*) que indica que el valor de conductividad no será superior a 1000 microsiemen.

4.2.2.3. Contenido de aceite norma SSPC-AB 1

El ensayo de contenido de aceite se realizó en el Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, en la sección de Química Industrial.

El contenido de aceite de la escoria de mata de níquel dio negativo como resultado de la prueba realizada. Por lo tanto no contiene presencia de hidrocarburos, tal como lo especifica la norma SSPC-AB 1 especificaciones de abrasivos no. 1 Minerales y Escorias Abrasivas (*Mineral and Slag Abrasives*).

4.3. Proceso de limpieza por el método de *sandblasting* norma SSPC-AB 1

El equipo de granallado utilizado en las pruebas de limpieza por el método de *sandblast* se describe a continuación:

- Tamiz No. 30 (0,60 milímetros)
- Diámetro de boquilla: 15,9 milímetros (5/8 pulgada)
- Calidad de granallado: SSPC-SP 10 cercano a blanco

- Tolva Sand – all
Sandblasting Equipment & supplies

Modelo: SAP 600A

Serie No.: 3643

Hecho en Miami, Florida

Figura 31. **Tolva Sand** – all utilizado en las pruebas de *sandblast*



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; junio de 2011.

- Compresor KAESER
Modelo: M50
Serie No.: 1018
Hecho en Alemania
Presión de trabajo: 100 psi
Tipo de combustible: diesel

Figura 32. **Compresor KAESER utilizado en las pruebas de *sandblast***



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; junio de 2011.

4.3.1. Análisis del material abrasivo en el proceso de *sandblasting*

Para realizar el análisis del abrasivo en el proceso de limpieza de *sandblast*, la norma SSPC-AB 1 sugiere analizar un área mínima de 1,86 metros cuadrados, en una superficie que anteriormente se ha sometido al proceso de *sandblast* y cubierta con pintura anticorrosiva, la cual se ha curado como mínimo siete días.

De acuerdo a ello, las pruebas se realizaron en un cilindro metálico, que anteriormente había sido sometido al proceso de *sandblast*.

4.3.1.1. Análisis de la arena de río como abrasivo en el proceso de *sandblasting*

Los resultados obtenidos en las tres pruebas realizadas en el análisis de la arena de río como material abrasivo en el proceso de *sandblasting*, son las siguientes:

4.3.1.1.1. Primera prueba

En la primera prueba del análisis de la arena de río como material abrasivo se cubrió un área de 2,00 metros cuadrados, tal como se especifica en la tabla XV.

Figura 33. **Superficie 2,1 sometida al proceso de limpieza *sandblast* con arena de río**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

- Análisis de resultados

Tabla XV. **Tasa de limpieza de la superficie 2,1 con la arena de río**

Superficie	Área de superficie	Tiempo de limpieza de superficie	Tasa de limpieza de la superficie	Generación de polvo
m	m ²	h	m ² /h	
2,00x 1,00	2,00	0,315	6,35	Muy alta formación de polvo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Tasa de consumo de la superficie 2,1 con la arena de río**

No. de sacos utilizados	Peso aproximado por saco	Peso total	Consumo de Abrasivo		Costo Abrasivo	
	kg		kg	kg/h	kg/m ²	Q/kg
20	13,1907	263,814	837,50	131,91	0,13*	17,15

Fuente: elaboración propia.

* Valor obtenido al mes de noviembre del 2011, del proveedor Servicios María del Carmen.

- Inspección visual norma SSPC-VIS 1

Se analiza la superficie, para comprobar si el grado de limpieza alcanzado es el SSPC- SP 10 cercano a blanco en la figura 34.

Figura 34. **Inspección del área 2,1 en el análisis de la arena como Abrasivo**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

Se divide la superficie analizada de manera que formen una cuadrícula con un área de 0,09 metros cuadrados (1 pie cuadrado) con el fin de analizar cada cuadro, comparar y determinar si existe uniformidad en el grado de limpieza.

Figura 35. Cuadrícula del área 2,1 analizada con la arena de río



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

Al momento de realizar este proceso se determinó que hay uniformidad en el grado de limpieza alcanzado.

4.3.1.1.2. Segunda prueba

En la segunda prueba del análisis de la arena de río, como material abrasivo se cubrió un área de 2,04 metros cuadrados, tal como se especifica en la tabla XVII.

Figura 36. **Superficie 3,1 sometida al proceso de limpieza *sandblast* con arena de río**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

- Análisis de resultados

Tabla XVII. **Tasa de limpieza de la superficie 3,1 con la arena de río**

Superficie	Área de superficie	Tiempo de limpieza de superficie	Tasa de limpieza de la superficie	Generación de polvo
m	m ²	h	m ² /h	
1,70x 1,20	2,04	0,2825	7,22	Muy alta formación de polvo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. Tasa de consumo de la superficie 3,1 con la arena de río

No. de sacos utilizados	Peso aproximado por saco	Peso total	Consumo de Abrasivo		Costo Abrasivo	
	kg		kg/h	kg/m ²	Q/kg	Q/m ²
20	13,1907	263,814	933,85	129,32	0,13*	16,81

Fuente: elaboración propia.

* Valor obtenido al mes de noviembre del 2011, del proveedor Servicios María del Carmen.

- Inspección visual norma SSPC-VIS 1
Se analiza la superficie, para comprobar si el grado de limpieza alcanzado es el SSPC- SP 10 cercano a blanco en la figura 37.

Figura 37. Inspección del área 3,1 en el análisis de la arena como Abrasivo



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

Se divide la superficie analizada de manera que formen una cuadrícula con un área de 0,09 metros cuadrados (1 pie cuadrado) con el fin de analizar cada cuadro, comparar y determinar si hay uniformidad en el grado de limpieza.

Figura 38. **Cuadrícula del área 3,1 analizada con la arena de río**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

Al momento de realizar este proceso se determinó que hay uniformidad en el grado de limpieza alcanzado.

4.3.1.1.3. Tercera prueba

En la tercera prueba del análisis de la arena de río como material abrasivo se cubrió un área de 1,00 metro cuadrado, tal como se especifica en la tabla XIX.

Figura 39. **Superficie 4,1 sometida al proceso de limpieza *sandblast* con arena de río**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

- Análisis de resultados

Tabla XIX. **Tasa de limpieza de la superficie 4,1 con la arena de río**

Superficie	Área de superficie	Tiempo de limpieza de superficie	Tasa de limpieza de la superficie	Generación de polvo
m	m ²	h	m ² /h	
0,67x 1,50	1,00	0,1056	9,52	Muy alta formación de polvo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Tasa de consumo de la superficie 4,1 con la arena de río**

No. de sacos utilizados	Peso aproximado por saco	Peso total	Consumo de Abrasivo		Costo Abrasivo	
	kg		kg	kg/h	kg/m ²	Q/kg
10	13,1907	131,907	1249,12	131,25	0,13*	17,06

Fuente: elaboración propia.

* Valor obtenido al mes de noviembre del 2011, del proveedor Servicios María del Carmen.

- Inspección visual norma SSPC-VIS 1

Se analiza la superficie, para comprobar si el grado de limpieza alcanzado es el SSPC- SP 10 cercano a blanco en las figura 40.

Figura 40. **Inspección del área 4,1 en el análisis de la arena como abrasivo**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

Se divide la superficie analizada de manera que formen una cuadrícula con un área de 0,09 metro cuadrado (1 pie cuadrado) con el fin de analizar cada cuadro, comparar y determinar si hay uniformidad en el grado de limpieza.

Figura 41. Cuadrícula del área 4,1 analizada con la arena de río



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

Al momento de realizar este proceso se determinó que hay uniformidad en el grado de limpieza alcanzado.

4.3.1.2. Análisis de la escoria de mata de níquel como abrasivo en el proceso de *sandblasting*

Los resultados obtenidos en las tres pruebas realizadas en el análisis de la escoria de mata níquel como material abrasivo en el proceso de *sandblasting*, son las siguientes:

4.3.1.2.1. Primera prueba

En la primera prueba del análisis de escoria de mata de níquel como material abrasivo se cubrió un área de 2,03 metros cuadrado, tal como se especifica en la tabla XXI.

Figura 42. **Superficie 2,2 sometida al proceso de limpieza *sandblast* con escoria de mata de níquel**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

- Análisis de resultados

Tabla XXI. **Tasa de limpieza de la superficie 2,2 con escoria de mata de níquel**

Superficie	Área de superficie	Tiempo de limpieza de superficie	Tasa de limpieza de la superficie	Generación de polvo
m	m²	h	m²/h	
1,31x 1,55	2,03	0,1403	14,47	Muy baja formación de polvo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Tasa de consumo de la superficie 2,2 con escoria de mata de níquel**

No. De sacos utilizados	Peso aproximado por saco	Peso total	Consumo de Abrasivo		Costo Abrasivo	
	kg		kg	kg/h	kg/m²	Q/kg
8	10,120	80,96	577,05	39,88	0*	0

Fuente: elaboración propia.

*Costo del material, debido a que no se comercializa.

- Inspección visual norma SSPC-VIS 1

Se analiza cada panel individual, para comprobar si el grado de limpieza alcanzado es el SSPC- SP 10 cercano a blanco en la figura 43.

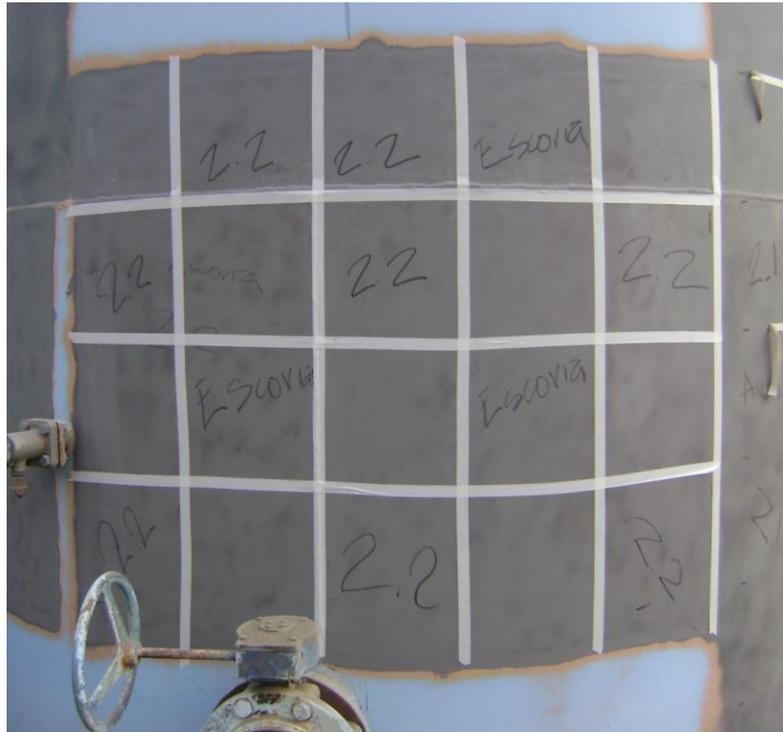
Figura 43. **Inspección del área 2,2 en el análisis de la escoria como abrasivo**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

Se divide la superficie analizada de manera que formen una cuadrícula con un área de 0,09 metro cuadrado (1 pie cuadrado) con el fin de analizar cada cuadro, comparar y determinar si hay uniformidad.

Figura 44. **Cuadrícula del área 2,2 analizada con la escoria de mata de níquel**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

Al momento de realizar este proceso se determinó que hay uniformidad en el grado de limpieza alcanzado, sin embargo el grado de limpieza alcanzado fue el SSPC- SP 5 metal blanco.

4.3.1.2.2. Segunda prueba

En la segunda prueba del análisis de escoria de mata de níquel como material abrasivo se cubrió un área de 2,06 metros cuadrados, tal como se especifica en la tabla XXIII.

Figura 45. **Superficie 3,2 sometida al proceso de limpieza *sandblast* con escoria de mata de níquel**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

- Análisis de resultados

Tabla XXIII. **Tasa de limpieza de la superficie 3,2 con escoria de mata de níquel**

Superficie	Área de superficie	Tiempo de limpieza de superficie	Tasa de limpieza de la superficie	Generación de polvo
m	m²	h	m²/h	
0,79x 0,70	0,55	0,1336	15,44	Muy baja formación de polvo
1,00x 1,51	1,51			
	2,06			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Tasa de consumo de la superficie 3,2 con escoria de mata de níquel**

No. De sacos utilizados	Peso aproximado por saco	Peso total	Consumo de Abrasivo		Costo Abrasivo	
	kg		kg	kg/h	kg/m²	Q/kg
8	10,120	80,96	605,99	39,24	0*	0

Fuente: elaboración propia.

*Costo del material, debido a que no se comercializa.

- Inspección visual norma SSPC-VIS 1
Se analiza cada panel individual, para comprobar si el grado de limpieza alcanzado es el SSPC- SP 10 cercano a blanco en la figura 46.

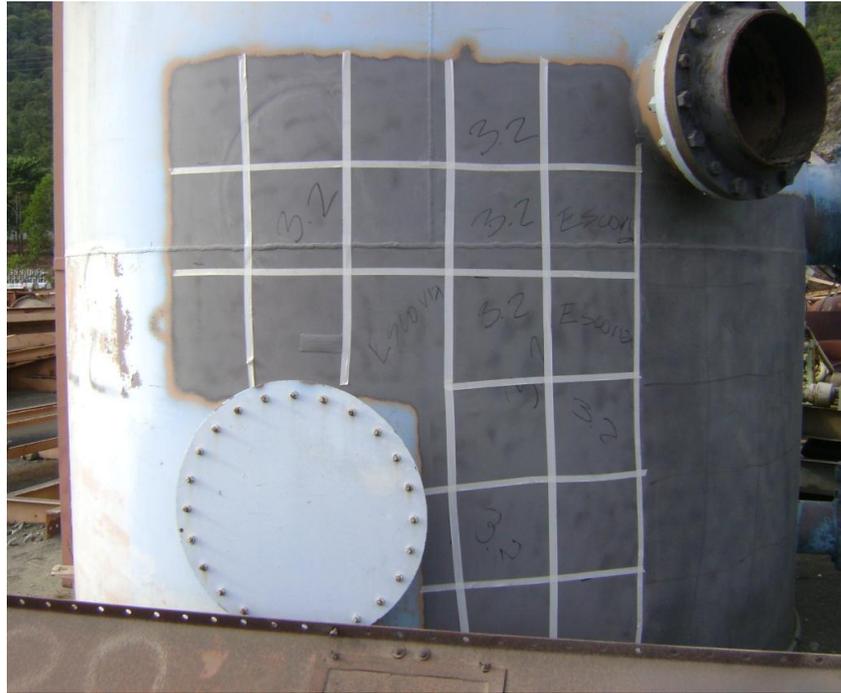
Figura 46. **Inspección del área 3,2 en el análisis de la escoria como abrasivo**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

Se divide la superficie analizada de manera que formen una cuadrícula con un área de 0,09 metro cuadrado (1 pie cuadrado) con el fin de analizar cada cuadro, comparar y determinar si hay uniformidad en el grado de limpieza.

Figura 47. **Cuadrícula del área 3,2 analizada con la escoria de mata de níquel**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

Al momento de realizar este proceso se determinó que hay uniformidad en el grado de limpieza alcanzado, sin embargo el grado de limpieza alcanzado fue el SSPC- SP 5 metal blanco.

4.3.1.2.3. Tercera prueba

En la tercera prueba del análisis de escoria de mata de níquel como material abrasivo se cubrió un área de 1,00 metro cuadrado, tal como se especifica en la tabla XXV.

Figura 48. **Superficie 4,2 sometida al proceso de limpieza *sandblast* con escoria de mata de níquel**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

- Análisis de resultados

Tabla XXV. **Tasa de limpieza de la superficie 4,2 con escoria de mata de níquel**

Superficie	Área de superficie	Tiempo de limpieza de superficie	Tasa de limpieza de la superficie	Generación de polvo
m	m²	h	m²/h	
1,00x 1,00	1,00	0,0769	13,00	Muy baja formación de polvo

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Tasa de consumo de la superficie 4,2 con escoria de mata de níquel**

No. De sacos utilizados	Peso aproximado por saco	Peso total	Consumo de Abrasivo		Costo Abrasivo	
	kg	kg	kg/h	kg/m²	Q/kg	Q/m²
4	10,120	40,48	526,40	40,48	0*	0

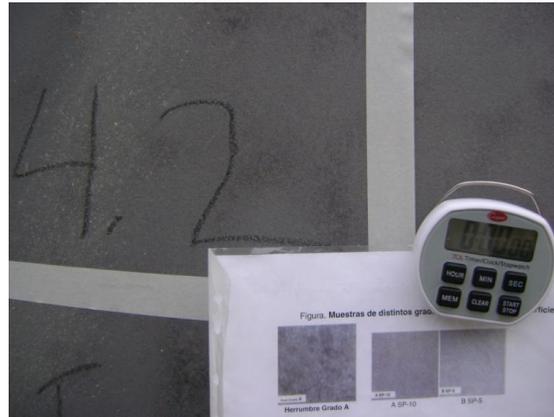
Fuente: elaboración propia.

*Costo del material, debido a que no se comercializa.

- Inspección visual norma SSPC-VIS 1

Se analiza cada panel individual, para comprobar si el grado de limpieza alcanzado es el SSPC- SP 10 cercano a blanco en la figura 49.

Figura 49. **Inspección del área 4,2 en el análisis de la escoria como abrasivo**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

Se divide la superficie analizada de manera que formen una cuadrícula con un área de 0,09 metro cuadrado (1 pie cuadrado) con el fin de analizar cada cuadro, comparar y determinar si hay uniformidad en el grado de limpieza.

Figura 50. **Cuadrícula del área 4,2 analizada con la escoria de mata de níquel**



Fuente: Compañía Guatemalteca de Níquel en El Estor, Izabal; noviembre de 2011.

Al momento de realizar este proceso se determinó que hay uniformidad en el grado de limpieza alcanzado, sin embargo el grado de limpieza alcanzado fue el SSPC- SP 5 metal blanco.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. En materiales

El análisis de los resultados obtenidos en los ensayos y pruebas realizadas de los materiales abrasivos en estudio (arena del río Motagua en Morales, Izabal y la escoria de mata de níquel en El Estor, Izabal), se detallan a continuación.

5.1.1. Agregado fino

Según la norma SSPC-AB 1 especificaciones de abrasivos no. 1 Minerales y Escorias Abrasivas (*Mineral and Slag Abrasives*) los abrasivos se clasifican en dos tipos diferentes, tres clases y cinco grados.

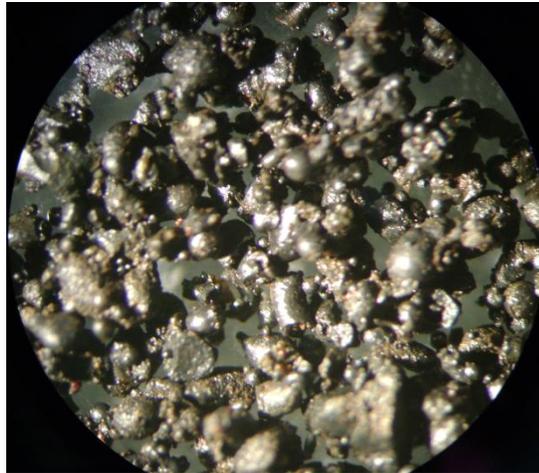
Siendo entonces, la arena del río Motagua en Morales, Izabal un abrasivo tipo I, clase C. Y la escoria de mata de níquel un abrasivo tipo II, clase C.

Figura 51. **Vista bajo el microscopio de los abrasivos**

- **Arena del río Motagua en Morales, Izabal**



- **Escoria de mata de níquel en El Estor, Izabal**



Fuente: Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas; agosto de 2011.

5.1.1.1. Evaluación de las propiedades físicas y características mecánicas

La evaluación de resultados de los ensayos realizados para obtener las propiedades físicas y características mecánicas de la arena del río Motagua en Morales, Izabal y de la escoria de mata de níquel son:

- **Granulometría**

La granulometría presentada por los dos materiales abrasivos (arena del río Motagua y la escoria de mata de níquel) presenta grandes discrepancias (ver inciso 2.3.2., 2.3.6, 4.1.1.2. y 4.1.1.6.), iniciando con que la arena presenta

mayor cantidad de material fino (tamiz No. 100 y tamiz No. 200) que la escoria. Respaldao también esta afirmación el valor del módulo de finura.

Por lo que desde aquí se puede analizar que los resultados en cuanto a los perfiles de rugosidad serán variantes.

Los granos de mayor tamaño cortarán más rápido y más profundo, es decir, que la escoria limpiará más rápido que la arena la superficie.

- Forma

Al observar los abrasivos bajo el microscopio, tal como se muestra en la figura 51. Se hace notar que la escoria tiene una forma esférica y la arena una forma angular.

- Peso específico

En cuanto al valor de peso específico la escoria presenta mejores resultados, sobrepasando el valor mínimo establecido y el valor obtenido de la arena (ver incisos 2.3.1 y 4.1.1.1.).

Determinando que la escoria golpeará la superficie con mayor energía que la arena, y logrando así limpiar mejor la superficie.

- Porcentaje de absorción

La escoria presenta un alto porcentaje de absorción comparado con los resultados arrojados en la arena (ver incisos 2.3.6. y 4.1.1.5.). El material

abrasivo debe tener poca capacidad de absorción, por tanto el abrasivo y la superficie deben estar completamente secos.

- **Materia orgánica**

La cantidad de materia orgánica encontrada en la arena es mayor que la obtenida en la escoria (ver inciso 2.3.7. y 4.1.1.7.), por lo que la escoria se encuentra libre de contaminación orgánica que pueda afectar la superficie que se desea limpiar.

- **Contenido de humedad**

Ninguno de los dos abrasivos estudiados cumple con el límite máximo de contenido de humedad (ver incisos 4.1.1.8. y 4.2.1.1.).

- **Dureza de *Mohs***

Para que el material abrasivo sea apto para utilizarlo en el proceso de limpieza de *sandblast* debe tener como mínimo una dureza de 6 en la escala de *Mohs*. Cumpliendo con este requisito la arena y la escoria (ver inciso 4.1.1.9. y 4.2.1.2.). Obteniendo un mejor resultado la escoria al producir el 100 por ciento de rayones. De acuerdo a estos resultados la escoria cortará con más rapidez y profundidad, es decir, más eficaz que la arena.

5.1.1.2. Evaluación química y mineralógica

La evaluación de resultados de los ensayos realizados para obtener las propiedades químicas y mineralógicas de la arena del río Motagua en Morales, Izabal y de la escoria de mata de níquel son:

- Análisis petrográfico

En el análisis petrográfico de la arena se puede observar una fuerte presencia de cuarzo que es la forma más común de sílice cristalina (ver inciso 4.1.2.1.). Y en el análisis de sílice se confirma este resultado obteniendo la arena y la escoria valores similares sin embargo la escoria presenta menor cantidad de sílice que la arena (ver incisos 4.1.2.2. y 4.2.2.1.). Siendo esto una diferencia no significativa en el contenido de sílice o dióxido de silicio (SiO_2) en los abrasivos estudiados.

También se observa que dos terceras partes de la muestra de arena de río es de tenacidad quebradiza (serpentinita y cuarzo), es decir, el 68,61 por ciento. Esto muestra que la arena se quiebra muy fácilmente al contacto con la superficie.

Por lo tanto, a pesar de que tanto la arena como la escoria presentan valores similares en contenido de sílice, la arena deja más sílice libre en el ambiente debido a su naturaleza quebradiza.

- Desgaste por sulfato de sodio

El desgaste por sulfato de sodio o intemperismo acelerado de la escoria es tres veces menor que el valor obtenido de la arena de río (ver incisos 4.1.2.3. y 2.4.1.). Obteniendo así que la escoria es tres veces más resistente cuando se somete a la intemperie en una aplicación de concreto o de otra índole.

- Conductividad

Los dos materiales abrasivos cumplieron con el requisito de conductividad presentando valores por abajo de los límites establecidos (ver incisos 4.1.2.4. y 4.2.2.2.). Presentando la escoria mejores resultados que la arena.

Por lo que se espera que la arena contamine más la superficie de acero y acelere el proceso de corrosión; más de lo que provocaría la escoria.

- Contenido de aceite

En cuanto al ensayo cualitativo del contenido de aceite los dos materiales abrasivos dieron negativo. Por lo tanto no contienen presencia de hidrocarburos que puede transferirse luego a la superficie que se desea limpiar, cumpliendo así con las especificaciones de la norma.

5.2. En estructura metálica

Al realizar las pruebas de limpieza de *sandblast* con un mismo equipo de granallado y en una sola estructura metálica libre de corrosión con la arena de río y la escoria de mata de níquel; se logra hacer una evaluación visual y física de la estructura metálica.

5.2.1. Evaluación visual

Tras las pruebas de limpieza de *sandblast*, se determina que los dos abrasivos en estudio logran el cometido de eliminar la pintura protectora y limpiar la superficie.

Una ventaja importante que se logra observar es que la escoria genera poca formación de polvo, es decir, que no genera tanta contaminación en el ambiente como la arena. La arena de sílice es muy frágil, por lo que se rompe con rapidez y crea grandes cantidades de polvo, dejando sílice libre en el ambiente. Por lo tanto, al utilizar la escoria como abrasivo los operarios están menos expuestos a la sílice cristalina libre en el ambiente. Lo que representa una gran ventaja para la salud.

La arena solamente puede ser utilizada una vez para el proceso de limpieza y hay indicadores que muestran que la escoria puede ser reutilizada más de una vez. Ya que no todas las partículas de escoria al momento de impactar la superficie generan polvo, sino que a pesar de que se fraccionan en partículas de menor tamaño aun conservar su forma y dureza. Estos dos factores crean otra ventaja, el de facilitar la recuperación el material.

5.2.2. Evaluación física

En el evalúo de los abrasivos de acuerdo a los datos obtenidos de la tasa de limpieza de la superficie (ver incisos 4.3.1.1. y 4.3.1.2.) muestra una ventaja para la escoria de mata de níquel, ya que logra limpiar el doble de superficie en el tiempo que lo haría la arena de río en estudio.

5.3. Evaluación económica

Con los datos obtenidos en el capítulo anterior (ver inciso 4.3.1.1. y 4.3.1.2.) se tabulan las tablas XXVII y XXVIII para realizar el estudio económico. En donde en ambos casos no se tomaron en cuenta los resultados obtenidos en la tercera prueba debido a la discrepancia de valores.

Tabla XXVII. **Análisis de la arena del río Motagua como abrasivo**

Superficie	Tasa de limpieza de la superficie	Consumo de Abrasivo		Costo Abrasivo	
	m ² /h	kg/h	kg/m ²	Q/kg	Q/m ²
2,1	6,35	837,50	131,91	0,13	17,15
3,1	7,22	933,85	129,32	0,13	16,81
PROMEDIO	6,79	885,68	130,62	0,13	16,98

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Análisis de la escoria de mata de níquel como abrasivo**

Superficie	Tasa de limpieza de la superficie	Consumo de Abrasivo		Costo Abrasivo	
	m ² /h	kg/h	kg/m ²	Q/kg	Q/m ²
2,2	14,47	577,05	39,88	0	0
3,2	15,44	605,99	39,44	0	0
PROMEDIO	15,96	591,52	39,66	0	0

Fuente: elaboración propia.

En el consumo de material abrasivo por hora de trabajo granallado, la arena en estudio muestra un consumo de 1,5 kilogramos veces mayor que la escoria de mata de níquel. En cuanto al consumo de material abrasivo por metro cuadrado de superficie granallado, la arena muestra un consumo de 3,3 kilogramos veces más que la escoria de mata de níquel.

El costo promedio de consumo de arena por metro cuadrado de superficie granallada será 17 veces mayor respecto a la utilización de escoria de mata de níquel.

Lo que muestra una ventaja en tiempo de trabajo, consumo de material y costo a favor de la escoria de mata de níquel. También, es importante considerar el mayor costo de logística por acarreo por movimiento de mayores volúmenes de arena y de polvo generado en el proceso respecto de la escoria de mata de níquel.

5.4. Ventajas y desventajas del método de limpieza *sandblasting* para estructuras metálicas con escoria de mata de níquel

Las ventajas y desventajas del uso del método de limpieza *sandblasting* para estructuras metálicas, con escoria de mata de níquel como material abrasivo son:

- Ventajas
 - Optimización de resultados, mayor uniformidad.
 - Recorte de costos en mano de obra.
 - Minimización de tiempos de trabajo, optimizando la mano de obra.
 - Menor consumo de material por metro cuadrado de superficie granallada (en relación a la muestra de arena).
 - Reducción en los tiempos de mantenimiento.
 - Obtención de mayor anclaje y adherencia de recubrimientos.
 - Poca generación de residuos y polvo.
 - Menor contaminación ambiental.
 - Menor riesgo para la salud del personal (en comparación con la arena).

- Mejor visibilidad de los usuarios.
- Recuperación de material.
- Menor costo de abrasivo por metro cuadrado limpio.

- Desventajas
 - Utilización de maquinaria especial.
 - Aumento de costos por el alquiler y/o compra de maquinaria y equipo.
 - Capacitación del personal.

CONCLUSIONES

1. Al analizar y evaluar el uso de escoria de mata de níquel como material abrasivo en el proceso de chorro de arena seco lanzado a presión, se obtuvo mejores resultados en comparación con el análisis de la arena del río Motagua en Morales, Izabal (el patrón). Como mejor calidad en el trabajo realizado en homogeneidad y limpieza.
2. La escoria de mata de níquel cumple con los requisitos establecidos por la norma SSPC AB 1 (que indica la aceptación de los abrasivos minerales y escorias) que establece conocer la graduación (granulometría) norma ASTM C 136, la gravedad específica norma ASTM C 128, dureza en la escala de *Mohs*, contenido de sílice cristalina, los contaminantes solubles en agua norma ASTM D 4940, contenido de humedad norma ASTM C 566, contenido de aceite. Por lo que posee las características aptas de ser un abrasivo que puede utilizarse en el proceso de limpieza de chorro de arena seco lanzado a presión.
3. Al comparar las características y propiedades de los materiales abrasivos en estudio, la escoria obtuvo resultados más favorables que la arena como mayor tamaño de los granos, que permite limpiar más rápido la superficie; un valor más alto de peso específico, por lo que golpea con más energía y limpia mejor la superficie; se encuentra libre de materia orgánica que contamine la superficie; posee mayor dureza para limpiar más rápido y profundo; es tres veces más resistente al estar expuesta a la intemperie; y está libre de hidrocarburos que afecten la superficie.

4. La escoria de mata de níquel reduce a la mitad el tiempo de limpieza y/o preparación de superficies para aplicar recubrimientos que la arena de río, y consume tres veces menos material por metro cuadrado de superficie granallado, lo cual se traduce en optimización de recursos materiales, humanos y de equipo. Ocasionando mayor productividad, además de generar un costo de abrasivo por metro cuadrado limpio 17 veces menor que el costo obtenido con la arena de río.

5. La escoria de mata de níquel y la arena de río no provocan óxido en la estructura metálica, después del proceso de limpieza *sandblasting*, obteniendo valores indicadores muy por debajo de los establecidos por la norma ASTM D 4940 (conductimetría de la contaminación iónica soluble en agua de abrasivos de voladura), teniendo una ventaja mayor la escoria.

6. La principal característica de la escoria de mata de níquel como abrasivo es que crea cantidades bajas de polvo lo que se traduce en una ventaja de salud para el personal. Además de no fraccionarse finamente, tal como lo hace la arena, facilitando así la recuperación el material. De esta manera proporciona menor contaminación ambiental, y menor generación de residuos y polvo.

La arena es muy frágil, por lo que se rompe con rapidez y al impactar la superficie crea grandes cantidades de polvo dejando sílice libre en el ambiente, lo que causa de una enfermedad irreversible que se denomina silicosis.

RECOMENDACIONES

1. Realizar una extracción de la escoria de mata de níquel, en la parte media y profunda del banco para evaluar si el material cumple con las especificaciones de la norma SSPC AB 1 para utilizarse en el proceso de limpieza de chorro de arena seco lanzado a presión.
2. Al utilizar el material abrasivo, estos deben estar completamente secos o como lo estipula la norma SSPC-AB 1 con 0,5 por ciento de humedad, por lo que se debe tener especial cuidado en ello. Ya que al momento de analizar el contenido de humedad ninguno de los dos abrasivos cumplió con este requisito.
3. Recolectar y almacenar el residuo de escoria que queda después del proceso de limpieza, para analizar posteriormente su posible reutilización como abrasivo.
4. Realizar un control de calidad en las superficies metálicas granalladas para evaluar si se presenta oxidación a largo plazo.
5. Aunque la generación de polvo y contaminación con la escoria son menores que los obtenidos con la arena de río. Los abrasivos estudiados presentan altos valores de sílice, por lo que se recomienda utilizar siempre el equipo de seguridad y seguir las normas.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Abrasive blasting* [en línea] <http://www.en.wikipedia.org/wiki/Abrasive_blasting> [Consulta: 01 de julio de 2011].
2. _____ . [en línea] <http://www.en.wikipedia.org/wiki/Abrasive_blasting#Equipment> [Consulta: 01 de julio de 2011].
3. ALONSO, Roberto R. *Sand time and sandblasting* [en línea] Argentina. <<http://www.bluewaterboats.com.ar/articulos/arenandoelcasco.htm>> [Consulta: 10 de julio de 2011].
4. ALVAREZ MURALLES, Luis Mariano. *Evaluación de la Escoria de Ferroníquel como agregado fino para concreto*. Trabajo de graduación Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 113 p.
5. American Society for Testing and Materials. *Annual Book of ASTM Standards*, Volumen 04.02., 06.01., 11.03. EEUU: ASTM, 1989.
6. BLANCO, Esperanza. *La dureza de los minerales: la Escala de Mohs* [en línea] <http://www.profes.net/rep_documentos/Propuestas_2%C2%BA_ciclo_ESO/2E%20P%20fisicas%20minerales%20La%20dureza%20de_los_minerales,_la_escala_de_Mohs.PDF> [Consulta: 10 de julio de 2011].

7. Blue Arenado. *Preparación de superficies metálicas* [en línea] <<http://www.bluearenados.com/pintura.html>> [Consulta: 01 de julio de 2011].
8. BRUHNS, W. *Petrografía*. Barcelona: Labor, 1964. 195 p. (Colección Labor).
9. Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería USAC. *Arancel*. Guatemala: Estudiantil Fénix, 2006. 41 p.
10. Comité Conjunto del Concreto Armado. *Agregados para concreto, Ensayos de Laboratorio y Especificaciones*. 2a ed. Caracas: CCCA. 1969. 158 p.
11. Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos Y Organismos Subsidiarios. *Sistemas de Protección Anticorrosiva a base de Recubrimientos para Instalaciones Superficiales* [en línea] México. 15 de mayo de 2006. [ref. de 10 de febrero 2011]. Disponible en Web: <<http://www.pemex.com/files/content/NRF-053-PEMEX-2006.pdf>>.
12. CYM MATERIALES. *Granallado- Normas de Preparación de Superficies* [en línea] Argentina. [ref. de 10 de febrero 2011]. Disponible en Web: <<http://www.cym.com.ar/castellano/informes/granallado-normas-preparacion-de-superficie.pdf>>.

13. Dawson-Macdonald Co. *Normas de limpieza con chorro abrasivo para superficies metálicas* [en línea] <<http://www.dawson-macdonald.com/media/technical-ata/SurfacePreparationGuide.pdf>> [Consulta: 10 de julio de 2011].
14. EC EPOCOAT Pinturas y Adhesivos especiales. *Preparación de superficies metálicas* [en línea] <<http://www.epocoat.com.ar/supmetal.htm>> [Consulta: 01 de julio de 2011].
15. *Escalas de dureza* [en línea] <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Escalas_de_dureza> [Consulta: 15 de agosto de 2011].
16. Espectrometría .COM. *Espectrometría de absorción atómica* [en línea] <http://www.espectrometria.com/espectrometra_de_absorcin_atmica> [Consulta: 15 de agosto de 2011].
17. *Espectrometría de absorción atómica* [en línea] <http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/choussy_c_d/apendiceC.pdf> [Consulta: 15 de agosto de 2011].
18. FILTRA H2O LTDA. *Sandblast* [en línea] Bogotá. <<http://www.filtrah2oltda.com/arenas-silices/sandblast>> [Consulta: 01 de julio de 2011].
19. Grupo HORUS. *Qué es Sandblast* [en línea] Querétaro. <<http://www.grupohorus.com.mx/sandblast.html>> [Consulta: 01 de julio de 2011].
20. Grupo Industrial CHIPAXA. *Sandblast maquinaria y equipo* [en línea] México. <<http://www.chipaxa.com/paginas/Abrasivos1.htm>> [Consulta: 10 de julio de 2011].

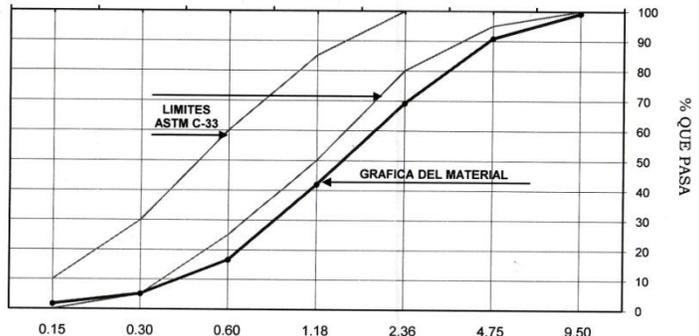
21. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. *Aglomerados de cuarzo: medidas preventivas en operaciones de mecanizado* [en línea] <<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/821a921/890w.pdf>> [Consulta: 01 de agosto de 2011].
22. MARTÍNEZ PATZÁN, Rudy Estuardo. *Calidad de dos bancos de agregados para concreto, en el departamento de Chiquimula*. Trabajo de graduación Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009, 140 p.
23. *Protective Sherwin Williams: Surface Preparation Standards* [en línea] <http://protective.sherwin-williams.com/pdf/tools-charts-list/surface_preparation_standards.pdf> [Consulta: 10 de enero de 2011].
24. *Qué es el chorro de arena* [en línea] <<http://www.wisegeek.com/what-is-sandblasting.htm>> [Consulta: 01 de julio de 2011].
25. *Qué es limpieza abrasiva* [en línea] <<http://www.clevelandohiopowdercoating.com/?p=49>> [Consulta: 01 de julio de 2011].
26. *Recubrimientos DUPON: Preparación de Superficies* [en línea] México. <<http://www.psm-dupont.com.mx/paginas/preparacion.htm>> [Consulta: 01 de julio de 2011].
27. Sherwin Williams. *Control de la corrosión* [en línea] <<http://www.sherwincl/industriales/Preparacion%20de%20Superficies%20GPI%20Steel%20Final.pdf>> [Consulta: 10 de julio de 2011].

28. The Society for Protective Coatings. *Abrasive Specification No. 1 Mineral and Slag Abrasives*. SSPC-AB 1. EEUU: Revisions. 2007, 5 p.
29. _____. *Guía para SSPC-VIS 1: guía de Fotografías de Referencia para Superficies de Acero Preparadas por Soplado Abrasivo Seco* [en línea] <<http://es.scribd.com/doc/47605027/GUIA-PARA-SSPC-VIS-1>> [Consulta: 09 de febrero de 2011].
30. WADDELL, Joseph J.; DOBROWOLSKY, Joseph A. *Manual de la Construcción con Concreto, Tomo 1*. 3a ed. México: Mc Graw-Hill. 1996. 260 p.

ANEXOS

Informes originales de los análisis realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, sección de Concreto y Agregados.

- Informe de análisis completo de la arena de río.

AGREGADO FINO PARA CONCRETO		 UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA																					
INTERESADO:		INFORME No.		PROYECTO:																			
Jackeline Jeannette Sajmolo Ruiz Carné No. 200715190		SC - 755		Trabajo de Graduacion "USO DE ESCORIA DE MATA DE NIQUEL COMO MATERIAL ABRASIVO EN EL PROCESO DE LIMPIEZA POR EL METODO DE SANDBLASTING, PARA ESTRUCTURAS METALICAS"																			
		MUESTRA:	FECHA:	O.T. No.	LAB.:																		
		Agregado Fino	26/08/2011	28854	Concretos																		
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 16.67%;"></td> <td style="width: 16.67%; text-align: center;">100</td> <td style="width: 16.67%; text-align: center;">50</td> <td style="width: 16.67%; text-align: center;">30</td> <td style="width: 16.67%; text-align: center;">16</td> <td style="width: 16.67%; text-align: center;">8</td> <td style="width: 16.67%; text-align: center;">4</td> <td style="width: 16.67%; text-align: center;">3/8</td> </tr> </table>					100	50	30	16	8	4	3/8										
	100	50	30	16	8	4	3/8																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Peso Especifico</td><td style="text-align: right;">2.61</td></tr> <tr><td>Peso Unitario (kg/m³)</td><td style="text-align: right;">1709.46</td></tr> <tr><td>Peso Unitario Suelto (kg/m³)</td><td style="text-align: right;">1609.80</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Vacios</td><td style="text-align: right;">34.38</td></tr> <tr><td>Porcentaje de Absorción</td><td style="text-align: right;">3.50</td></tr> <tr><td>Contenido de Materia Orgánica</td><td style="text-align: right;">2</td></tr> <tr><td>% que pasa Tamiz 200</td><td style="text-align: right;">5.64</td></tr> <tr><td>Modulo de Finura</td><td style="text-align: right;">3.75</td></tr> <tr><td>% Retenido Tamiz 6.35</td><td style="text-align: right;">2.32</td></tr> </table>		Peso Especifico	2.61	Peso Unitario (kg/m ³)	1709.46	Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1609.80	Porcentaje de Vacios	34.38	Porcentaje de Absorción	3.50	Contenido de Materia Orgánica	2	% que pasa Tamiz 200	5.64	Modulo de Finura	3.75	% Retenido Tamiz 6.35	2.32				
Peso Especifico	2.61																						
Peso Unitario (kg/m ³)	1709.46																						
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1609.80																						
Porcentaje de Vacios	34.38																						
Porcentaje de Absorción	3.50																						
Contenido de Materia Orgánica	2																						
% que pasa Tamiz 200	5.64																						
Modulo de Finura	3.75																						
% Retenido Tamiz 6.35	2.32																						
OBSERVACIONES:																							
a) Muestra proporcionada por el interesado.																							
b) Contenido de materia orgánica máximo permisible No. 3.																							
c) Procedencia: Banco Río Motagua Izabal																							
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 12.5%;">Tamiz No.</td> <td style="width: 12.5%;">9.50</td> <td style="width: 12.5%;">4.75</td> <td style="width: 12.5%;">2.36</td> <td style="width: 12.5%;">1.18</td> <td style="width: 12.5%;">0.60</td> <td style="width: 12.5%;">0.30</td> <td style="width: 12.5%;">0.15</td> </tr> <tr> <td>% Que pasa</td> <td style="text-align: right;">99.18</td> <td style="text-align: right;">90.79</td> <td style="text-align: right;">69.14</td> <td style="text-align: right;">41.97</td> <td style="text-align: right;">16.63</td> <td style="text-align: right;">5.08</td> <td style="text-align: right;">1.64</td> </tr> </table>				Tamiz No.	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	% Que pasa	99.18	90.79	69.14	41.97	16.63	5.08	1.64		
Tamiz No.	9.50	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15																
% Que pasa	99.18	90.79	69.14	41.97	16.63	5.08	1.64																
Vo.Bo.																							
Inga. Telma Maricela Cand Morales Directora CII/USAC		Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros																					
																							

- Informe de desgaste por sulfato de sodio norma ASTM C-88 de la arena de río.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 20987

**ENSAYO DE ESTABILIDAD VOLUMETRICA DE AGREGADO FINO
NORMA ASTM C-88**

INFORME No. S.C. - 756

O.T. No. 28854

INTERESADO: Jackeline Jeannette Sajmolo Ruíz Carné No. 200715190
Trabajo de Graduación "USO DE ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL COMO MATERIAL ABRASIVO EN EL PROCESO DE LIMPIEZA POR EL METODO DE SANDBLASTING, PARA ESTRUCTURAS METALICAS"

PROYECTO: ABRASIVO EN EL PROCESO DE LIMPIEZA POR EL METODO DE SANDBLASTING, PARA ESTRUCTURAS METALICAS"

PROCEDENCIA: Banco Río Motagua Izabal

SOLUCIÓN: Sulfato de Sodio

FECHA: 26 de septiembre de 2011

PASA	TAMAÑOS RETENIDOS	Graduación por fracción	Antes de ensayo	Después de ensayo	% de Desgaste	Desgaste ref. a Graduación
3/8" (9.52 mm)	No. 4 (4.76 mm)	8.39	-----	-----	21.10	1.77
No. 4 (4.76 mm)	No. 8 (2.38 mm)	21.65	100.00	78.90	21.10	4.57
No. 8 (2.38 mm)	No. 16 (1.19 mm)	27.18	100.00	79.70	20.30	5.52
No. 16 (1.19 mm)	No. 30 (595 mm)	25.34	100.00	84.70	15.30	3.88
No. 30 (595 mm)	No. 50 (297 mm)	11.55	100.00	90.80	9.20	1.06
No. 50 (297 mm)	No. 100 (149 mm)	5.08	100.00	91.60	8.40	0.43
No. 100 (149 mm)		-----	-----	-----	-----	-----
TOTALES		99.18	500.00	-----	-----	17.22

OBSERVACIONES:

a) Muestra proporcionada por el interesado

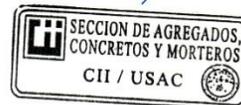
ATENTAMENTE,

Vo. Bo.

Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



[Signature]
Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



EMG

- Informe de contenido de humedad norma ASTM C-566 de la arena de río y la escoria de mata de níquel.



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Nº 20988

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO

NORMA ASTM C-566

INFORME No. S.C. - 757

O.T. No. 28937

HOJA 1/1

INTERESADO: Jackeline Jeannette Sajmolo Ruíz Carné No. 200715190
PROYECTO: Trabajo de Graduación "USO DE ESCORIA DE MATA DE NÍQUEL COMO MATERIAL ABRASIVO EN EL PROCESO DE LIMPIEZA POR EL METODO DE SANDBLASTING, PARA ESTRUCTURAS METALICAS"
DIRECCIÓN: 22 Av. 3-65 Colonia El Encino zona 6 de Mixco
FECHA: 26 de septiembre de 2011

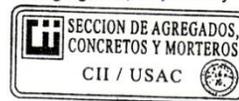
REFERENCIA	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Humedad (%)	2.80	3.43

OBSERVACIONES:

- Muestra proporcionada por el interesado
- Muestra 1: Arena de río Motagua en Morales, Izabal
- Muestra 2: Escoria de Mata de Níquel

ATENTAMENTE,


Inga. Dilma Yanet Mejicanos Joi
Jefa Sección de Agregados, Concretos y Morteros



Vo.Bo.


Inga. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII/USAC



EMG

Informes originales de los análisis realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería –CII-, sección de Química Industrial.

- Informe de conductimetría de la contaminación iónica y contenido de aceite de la escoria de mata de níquel y arena de río.

	CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA							
		Nº 17211						
O.T. No. 29109 No Informe QUINDLAFIQ. 69-11								
Interesado: Jackeline Sajmoló Ruiz								
Muestra: 1 muestra de arena y 1 muestra de escoria								
Fecha: 26 de octubre de 2011								
Determinación de conductividad de las 2 muestras.								
<table border="1"><thead><tr><th>Muestra</th><th>Conductividad (µS)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Arena de río Motagua, Morales, Izabal</td><td>270.1</td></tr><tr><td>Escoria de mata de níquel</td><td>142.5</td></tr></tbody></table>			Muestra	Conductividad (µS)	Arena de río Motagua, Morales, Izabal	270.1	Escoria de mata de níquel	142.5
Muestra	Conductividad (µS)							
Arena de río Motagua, Morales, Izabal	270.1							
Escoria de mata de níquel	142.5							
*Muestra proporcionada por el interesado								
Contenido de aceite en las muestras proporcionadas.								
<table border="1"><thead><tr><th>Muestra</th><th>Contenido de aceite</th></tr></thead><tbody><tr><td>Arena de río Motagua, Morales, Izabal</td><td>Negativo</td></tr><tr><td>Escoria de mata de níquel</td><td>Negativo</td></tr></tbody></table>			Muestra	Contenido de aceite	Arena de río Motagua, Morales, Izabal	Negativo	Escoria de mata de níquel	Negativo
Muestra	Contenido de aceite							
Arena de río Motagua, Morales, Izabal	Negativo							
Escoria de mata de níquel	Negativo							
*Muestra proporcionada por el interesado								
<small>FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC— Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12 Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121 Página web: http://cii.usac.edu.gt</small>								



Imagen No. 1

Arena de río Motagua, Morales, Izabal

Observación: Se observa una sola fase acuosa.



Imagen No. 2

Escoria de mata de níquel

Observación: Se observa una sola fase acuosa.




MsC. Ingrid Lorena Benítez Pacheco
Coordinadora LAFIQ


Ing. César Alfonso García Guerra
Jefe
Sección Química Industrial


Vo. Bo. Inga. Telma Marisela Cano Morales
Directora
Centro de Investigaciones de Ingeniería -CII



Informes originales de los análisis realizados en el Ministerio de Energía y Minas –MEM–.

- Informe de sílice en porcentaje de masa de la escoria de mata de níquel.

LABORATORIOS TÉCNICOS	 GOBIERNO DE LA REPÚBLICA GUATEMALA MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS	PAGINA 1 DE (1) LAB-REP- 1440-11 ORDEN No. L-681-11 GUATEMALA, 23-11-11	
RESULTADOS DE ANÁLISIS			
MUESTRA: ESCORIA DE MATA DE NIQUEL PRESENTADA POR: Jackeline Sajmolo RESPONSABLE DEL MUESTREO: Jackeline Sajmolo PROCEDENCIA: Compañía Guatemalteca de Níquel LOCALIZACION: 3a. Av. 13-78 Zona 10 Torre Citibank, 4to. Nivel FECHA DE MUESTREO: 07-11-11 FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 07-11-11 FECHA DE ANALISIS: del 21 al 22-11-11 PRECIO DE ANALISIS: \$ 19.00 ANALISTA: Hugo Argueta			
DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADO EN FORMA ELEMENTAL	OXIDO CALCULADO (1)
Silicio, % masa	E. A. A.	23.28	49.80 SiO ₂
Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada al laboratorio. E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica. 1) El óxido se calculó por estequiometría.			
 Ing. Byron Rosales AREA DE MINERALES			
 Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS			
El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.			
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS		 GOBIERNO DE LA REPÚBLICA GUATEMALA	

- Informe de sílice en porcentaje de masa de la arena de río.

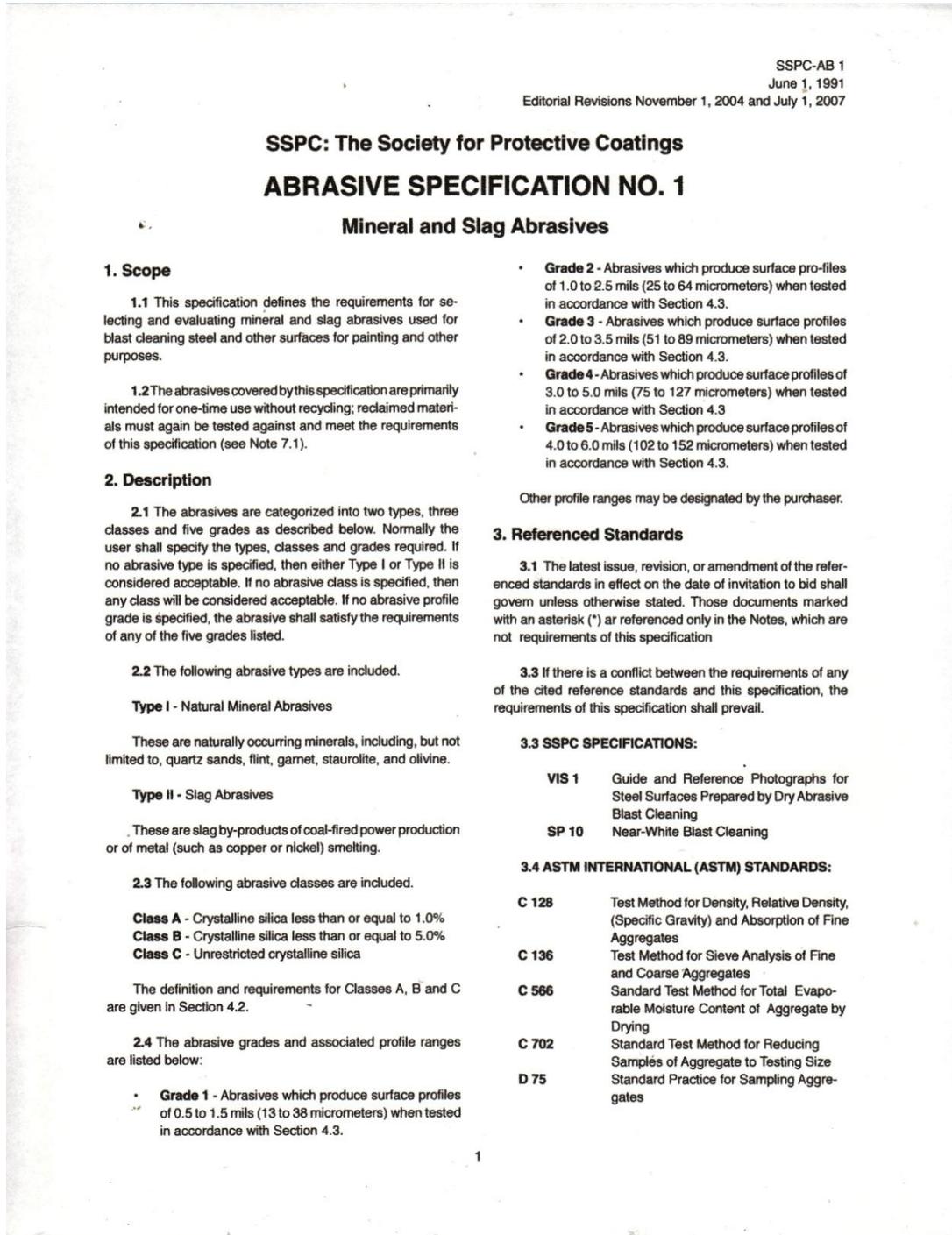
LABORATORIOS TÉCNICOS	 GOBIERNO DE LA REPUBLICA GUATEMALA MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS	PAGINA 1 DE (1) LAB-REP- 1441-11 ORDEN No. L-681-11 GUATEMALA, 23-11-11									
RESULTADOS DE ANÁLISIS											
<p>MUESTRA: ARENA RÍO MOTAGUA (Morales Izabal) PRESENTADA POR: Jackeline Sajmolo RESPONSABLE DEL MUESTREO: Jackeline Sajmolo PROCEDENCIA: Compañía Guatemalteca de Níquel LOCALIZACION: 3a. Av. 13-78 Zona 10 Torre Citibank, 4to. Nivel FECHA DE MUESTREO: 07-11-11 FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 07-11-11 FECHA DE ANALISIS: del 21 al 22-11-11 PRECIO DE ANALISIS: \$ 19.00 ANALISTA: Hugo Argueta</p>											
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DESCRIPCION</th> <th>TECNICA</th> <th>RESULTADO EN FORMA ELEMENTAL</th> <th>OXIDO CALCULADO (1)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Silicio, % masa</td> <td>E. A. A.</td> <td>23.70</td> <td>50.71 SiO₂</td> </tr> </tbody> </table>	DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADO EN FORMA ELEMENTAL	OXIDO CALCULADO (1)	Silicio, % masa	E. A. A.	23.70	50.71 SiO ₂			
DESCRIPCION	TECNICA	RESULTADO EN FORMA ELEMENTAL	OXIDO CALCULADO (1)								
Silicio, % masa	E. A. A.	23.70	50.71 SiO ₂								
<p>Notas: Resultados válidos para la cantidad de muestra presentada al laboratorio. E. A. A. = Espectrometría de absorción atómica. 1) El óxido se calculó por estequiometría.</p>											
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  Ing. Byron Rosales AREA DE MINERALES </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro COORDINADORA LABORATORIOS TÉCNICOS </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>											

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico.

MINISTERIO
DE ENERGÍA Y MINAS



- Norma SSPC-AB 1 especificaciones de abrasivos no. 1 Minerales y Escorias Abrasivas (*Mineral and Slag Abrasives*).



SSPC-AB 1
June 1, 1991
Editorial Revisions November 1, 2004 and July 1, 2007

- D 1125** Standard Test Methods for Electrical Conductivity and Resistivity of Water
- D 4417** Standard Test Method for Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel
- D 4940** Standard Test Method for Conductimetric Analysis of Water Soluble Ionic Contaminants of Blasting Abrasives
- * **E 1132** Standard Practice for Health Requirements Relating to Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica

3.5 MILITARY SPECIFICATIONS

- * **MIL-DTL-24441** Paint, Epoxy Polyamide, General Specification for

4. Requirements

4.1 GENERAL PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES: The abrasive shall meet all the requirements of paragraphs 4.1.1 through 4.1.6.

4.1.1 Specific Gravity: The specific gravity shall be a minimum of 2.5 as determined by ASTM C 128.

4.1.2 Hardness: The hardness shall be a minimum of 6 on the Mohs scale when tested as follows: Examine the material under low-power microscope (10X) and if grains of different colors or character are present, select a few grains of each. Place in succession the grains thus differentiated between two glass microscope slides. While applying pressure, slowly move one slide over the other with a reciprocating motion for 10 seconds. Examine the glass surface, and if scratched, the material shall be considered as having a minimum hardness of 6 on the Mohs scale. If more than 25% of the grains by count fail to scratch the glass surface, the abrasive does not meet this specification.

4.1.3 Weight Change on Ignition: The maximum permissible loss on ignition is 1.0% and the maximum permissible gain is 5.0% when tested as follows: A representative portion of the sample shall be ground in an agate mortar and thoroughly dried at 220-230°F (105-110°C) for one hour. Transfer approximately 1 gram of the dried sample to a tared crucible with cover and weigh to the nearest milligram. Cautiously heat the crucible with contents, at first partially covered, and then at approximately 1382 ± 90°F (750 ± 50°C) covered. Hold at 1382°F (750°C) for 30 minutes, then cool in a desiccator and reweigh. The percent of weight change shall be computed as follows:

$$\% \text{ weight change} = \frac{(\text{final wt.} - \text{orig. wt.}) \times 100}{\text{orig. wt.}}$$

4.1.4 Water Soluble Contaminants: The conductivity of the abrasive shall not exceed 1000 microsiemen when tested in accordance with ASTM D 4940 (see Note 7.3)

4.1.5 Moisture Content: The maximum moisture content shall be 0.5% by weight, when tested in accordance with ASTM C 566.

4.1.6 Oil Content: The sample, in water, when tested in 4.1.4, shall show no presence of oil, either on the surface of the water or as an emulsion in the water, when examined visually after standing for 30 minutes.

4.2 CRYSTALLINE SILICA CONTENT: All abrasives must be classed based on crystalline silica content (see Note 7.4). Abrasives designated as Class A or B must meet the requirements of paragraphs 4.2.1 or 4.2.2 respectively.

4.2.1 Class A - Less Than 1% Crystalline Silica: Abrasives shall contain no more than 1.0% by weight of crystalline silica when determined in accordance with procedures described in 4.2.4.

4.2.2 Class B - Less than 5% Crystalline Silica: Abrasives shall contain no more than 5.0% by weight of crystalline silica when determined in accordance with procedures described in 4.2.4.

4.2.3 Class C - Unrestricted Crystalline Silica: No restrictions on crystalline silica content.

4.2.4 Crystalline Silica: The crystalline silica content shall be determined by the use of infrared spectroscopy or by other analytical procedures, such as wet chemical or X-ray diffraction analyses.

4.3 SURFACE PROFILE: The average surface profile, when determined in accordance with the description below, shall be within the ranges specified in Section 2.4. A representative sample of the material shall be obtained in accordance with ASTM D 75 and used to abrasive blast a 2-foot by 2-foot by 1/4 inch (61 cm x 61 cm x 4 mm) mild steel plate of SSPC-VIS 1 Rust Grade A to a cleanliness of SSPC-SP 10 (Near-White Blast Cleaning). The blasting shall be done using a 3/8 in (9.5 mm) #6 venturi nozzle with a nozzle pressure of 95 ± 5 psig (670 ± 35 kilopascals) at a distance of 24 ± 6 inches (61 ± 15 cm) from the surface at an angle of 75 to 105 degrees. The resultant surface profile shall be measured at a minimum of five locations in accordance with Method C of ASTM D 4417 (see Note 7.5). The average measured profile shall be within the ranges given in Section 2.4. Other methods of determining profile may be used if mutually agreeable between the contracting parties.

4.4 PARTICLE SIZE DISTRIBUTION

4.4.1 The abrasive supplier shall designate range(s) for maximum and minimum retention of each sieve size to meet the profile range(s) specified in Section 2.4 and determined in Section 4.3. The particle size distribution shall be measured in accordance with ASTM C 136 using the following U.S. standard sieves: 6, 8, 12, 16, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 140, and 200. Upon request, the supplier shall substantiate that the specified size range will meet the required profile range.)

4.4.2 The designated sieve size distribution and ranges will become the acceptance standard for the specific abrasive submitted (see Section 5.4).

4.5 HEALTH AND SAFETY REQUIREMENTS

4.5.1 The abrasive material as supplied shall comply with all applicable federal, state, and local regulations (see Note 7.6).

4.5.2 The manufacturer shall provide the purchaser with sufficiently detailed chemical analyses to allow the user to provide the protective engineering and administrative controls for blast cleaning identified in federal, state, and local codes.

4.5.3 Material Safety Data Sheets shall be furnished for all abrasive materials supplied.

4.6 OTHER REQUIREMENTS

4.6.1 In addition to the requirements of Sections 4.1 through 4.5, the specifier may also stipulate performance tests to establish abrasive consumption rate, cleaning rate, and abrasive breakdown. As there are currently no standards for these tests, they are not a part of this specification. However, upon mutual agreement between supplier and purchaser, a performance test procedure can be established. Appendix A outlines a suggested procedure.

5. Qualification Testing and Conformance Testing

5.1 RESPONSIBILITIES FOR TESTING: The procurement documents should establish the specific responsibilities for qualification testing and conformance testing. Unless otherwise specified, the supplier is responsible for performing and documenting the tests and inspections called for in this specification.

5.2 CLASSIFICATION OF TESTING: The tests given in Section 4 are classified as qualification tests or conformance tests, as defined below:

5.2.1 Qualification tests are those tests which are run to initially qualify a material for this specification. Qualification tests

are also required whenever a significant change has occurred in the source, method of processing, method of shipping or handling of the abrasives. The qualification tests include all the tests in Sections 4.1 through 4.6.

5.2.2 Conformance tests are those tests which are performed to verify that the material being submitted has the same properties as the material which initially qualified. Conformance tests shall be conducted on each lot as required by the purchaser. The frequency and lot size for quality conformance testing shall be mutually agreed upon between the supplier and the purchaser. The required conformance tests are particle size distribution (Section 4.4), water soluble contaminants (Section 4.1.4), moisture content (Section 4.1.5) and oil content (Section 4.1.6).

5.3 METHODS OF SAMPLING

5.3.1 Sampling for Qualification Tests

5.3.1.1 Bagged Abrasive: Three or more sacks of abrasive shall be randomly selected from each inspection lot. The sacks shall be mixed and separated and a 50 kilogram (kg) (110 lb) composite sample prepared in accordance with ASTM C 702.

5.3.1.2 Bulk Abrasive: A 50 kg (110 lb) composite sample shall be obtained from the blended finished product in accordance with ASTM D 75 (see Note 7.7).

5.3.2 Sampling for Conformance Tests

5.3.2.1 Bagged Abrasive: One sack of abrasive shall be randomly selected from each inspection lot and a 2 kg (4 lb) composite sample prepared in accordance with ASTM C 702.

5.3.2.2 Bulk Abrasive: A 2 kg (4 lb) composite sample shall be obtained from the blended finished product in accordance with ASTM D 75.

5.3.3 Other methods of sampling may be used if mutually agreeable between the contracting parties.

5.4 DOCUMENTATION OF INSPECTION AND TESTING:

The supplier shall furnish all documentation required to verify that he has completed the requirements of the qualification tests and conformance tests specified. At a minimum, the documentation shall include the following:

5.4.1 List of tests performed: This list shall include the title of the test, the appropriate standards used, any deviation from standard practice, and the numerical results of the testing.

5.4.2 Testing facilities: The documentation of facilities shall include the name and location of the laboratory, the

SSPC-AB 1
June 1, 1991
Editorial Revisions November 1, 2004 and July 1, 2007

responsible laboratory official, and laboratory certification or other evidence of qualification.

5.4.3 Date of testing: This shall include the date of original qualification (if applicable) and dates of completion and official approval of testing results.

5.4.4 Affidavit: The procurement documents should establish the responsibility for any required affidavit certifying compliance with this specification.

5.5 FREQUENCY OF TESTING AND INSPECTION: All materials supplied under this specification shall be subject to timely inspection by the purchaser or his authorized representative. The frequency and lot size of inspection shall be established by mutual agreement between the supplier and the purchaser.

5.6 APPROVAL: The purchaser shall have the right to reject any material supplied which is found to be defective under this specification. In case of dispute, the arbitration or settlement procedure, if any, established in the procurement documents shall be followed. If no arbitration or settlement procedure is established, then a procedure mutually agreeable to the purchaser and material supplier shall be used.

6. Disclaimer

6.1 While every precaution is taken to ensure that all information furnished in SSPC standards and specifications is as accurate, complete, and useful as possible, SSPC cannot assume responsibility nor incur any obligation resulting from the use of any materials, coatings, or methods specified herein, or of the specification or standard itself.

6.2 This specification does not attempt to address problems concerning safety associated with its use. The user of this specification, as well as the user of all products or practices described herein, is responsible for instituting appropriate health and safety practices and for ensuring compliance with all governmental regulations.

7. Notes

Notes are not requirements of this specification.

7.1 Reclaimed abrasive may not meet the requirements of this specification because of particle degradation and retained contaminants. To confirm compliance, reclaimed abrasive shall be retested.

7.2 Materials furnished under this specification which produce the required surface profile under standard test conditions may produce a different surface profile depending upon job condition, type of surface, blasting pressure, etc.

7.3 The limitation for abrasive conductivity is based on pressure immersion testing and accelerated outdoor exposure tests performed by SSPC and the National Shipbuilding Research Program.

7.4 Users of abrasives containing quartz (crystalline silica) should comply with the requirements of ASTM E 1132.

7.5 Methods A and B of ASTM D 4417 or National Association of Corrosion Engineers RP02-87, "Field Measurement of Surface Profile of Abrasive Blast Cleaned Steel Using Replica Tape" may also be specified by agreement between purchaser and supplier.

7.6 Disposal of abrasives should be in compliance with all applicable federal, state, and local regulations. It is noted that the spent abrasive may contain hazardous paint and other foreign matter.

7.7 The importance of properly obtaining a sample cannot be over-emphasized. All subsequent analyses performed on the selected sample are likely to be affected by particle size, so it is imperative that every reasonable effort be made to select the sample in a way that will assure proper representation. Therefore, it is important to select the proper sampling location, and to use proper techniques to select the sample.

The following guidelines should be kept in mind when deciding on a sampling method:

7.7.1 If possible, sample the material to be tested when it is in motion, in such places as a conveyor output point or a chute discharge.

7.7.2 The whole of the material stream should be taken for many short periods of time in preference to part of the material stream being taken for the whole of the time.

Appendix A. Optional Test To Determine Rates of Surface Cleaning by Abrasives and of Abrasive Consumption

A.1 TEST PROCEDURE

A.1.1 For testing purposes hot rolled carbon steel plates or other flat structural steel with surface area of 20 to 80 sq. ft. (1.9 to 7.4 m²) shall be abrasive blast cleaned to a SSPC-SP 10 "Near White" condition. Surface profile shall range from 2.0 to 3.0 mils (51 to 76 micrometers) when measured by replica tape (ASTM D 4417, Method C). These panels shall be coated within 4 hours of abrasive blasting, or before surface rusting is visible —whichever occurs first.

A.1.2 The panels prepared in A.1.1 shall be coated with three coats of epoxy-polyamide paint (total DFT 7-10 mils [178-254 micrometers]) conforming to MIL-DTL-24441 or

other standard reference painting system agreed to by the contracting parties. The panels shall be cured for a minimum of seven days at a minimum temperature of 70°F (21° C). Following curing, the panels shall be marked in such a manner as to form a grid of squares, each being 1 sq. ft. (0.09 m²) in area. Each plate shall contain a minimum of 20 squares.

A.1.3 Each abrasive type and size selected shall be tested using a 3/8 inch (9.6 mm) venturi nozzle operated at 95 ± 5 psig (655 ± 35 kilopascals) at the nozzle. A 600 lb pot shall be charged with 500 lbs (227 kg) of abrasive and the test panel blasted to SSPC-SP 10 near-white condition. Each trial shall cover approximately 20 sq. ft. (2 m²) of surface area. The blast pot shall be disconnected and weighed before and after each blast trial, and the following data recorded: start weight, finish weight, weight of abrasive used, square footage blasted, and time required to blast.

A.2 ABRASIVE CONSUMPTION RATE: The abrasive consumption rate shall be determined as the weight of abrasive used divided by the area cleaned, and reported in lbs of abrasive per square foot (kg per m²).

A.3 SURFACE CLEANING RATE: The surface cleaning rate shall be determined as the area cleaned divided by the time required to blast and reported in square feet (square meters) cleaned per hour.