



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

EFFECTO DE LA RELACIÓN Fe/Cu Y BAJOS CONTENIDOS
DE Ni EN LA DUREZA Y ABRILLANTADO DE PIEZAS DE
ALUMINIO COLADAS EN MOLDE DE ARENA EN VERDE.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO

P R E S E N T A:

JORGE LUIS ROJAS DÍAZ



MÉXICO, D.F.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Prof. Eusebio Cándido Atlatenco Tlapanco

VOCAL: Prof. José Alejandro García Hinojosa

SECRETARIO: Prof. Arturo Alejandro Sánchez Santiago

1er. SUPLENTE: Prof. Agustín Gerardo Ruiz Tamayo

2do. SUPLENTE: Prof. Luis Darío Escobar Mejía

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

- **FACULTAD DE QUÍMICA DE LA UNAM.**
- **METALURGICA ARTESANAL S.A. DE C.V.**
EJE NORTE # 11, CD. IND. XICOHTÉNCATL
TETLA DE LA SOLIDARIDAD, TLAXCALA
CP 90430
Tels.: (241) 41 – 271 – 00, 41 – 273 – 72, 41 – 273 – 94

ASESOR DEL TEMA:

Dr. José Alejandro García Hinojosa

SUSTENTANTE:

Jorge Luis Rojas Díaz

Agradecimientos

Gracias a Dios, por su infinito amor, por permitirme ser quien soy, por darme la oportunidad de vivir esta vida para disfrutarla y dar lo mejor de mí junto a mis seres queridos... ¡Gracias!

Gracias a mi ALMA MÁTER, por darme un lugar en donde enriquecerme de conocimiento, por brindarme la oportunidad de estudiar en el PLANTEL 4 de la ESCUELA NACIONAL PREPARATORIA y por permitirme estudiar una licenciatura en la FACULTAD DE QUÍMICA, para poder realizarme hoy como INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO. Gracias querida y amada UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, te prometo que daré lo mejor de mí como profesionista, que tú nombre siempre lo dejare muy en alto y que toda mi vida llevare con orgullo tú azul y oro en la sangre.

**¡GOYA! ¡GOYA!
¡CACHUN, CACHUN, RA, RA!
¡CACHUN, CACHUN, RA, RA!
¡GOYA!
¡¡UNIVERSIDAD!!**

Gracias a la FACULTAD DE QUÍMICA y a todos sus profesores, por permitirme crecer y cultivarme dentro de tus aulas. Estoy muy orgulloso de haber estudiado mi carrera en tus instalaciones, porque todo el profesorado es de primer nivel y verdaderos investigadores.

Gracias al Departamento de Metalurgia y a todos sus profesores, por todas las facilidades otorgadas para realizar mis estudios, por tener siempre a mi amado, y nunca olvidado, EDIFICIO D con las mejores instalaciones para nuestro uso.

Gracias queridos profesores del DIM, en verdad les agradezco su esmero, su esfuerzo y su dedicación para transmitirme su conocimiento. Todo lo que se de metalurgia lo aprendí de ustedes. Gracias porque marcaron mi vida con sus clases y sus consejos, ya que no solo fueron vitales para mi formación como ingeniero si no que en el ámbito personal, muchos de ustedes fueron más que solo profesores y llegaron, en varias ocasiones, a fungir como psicólogos y como verdaderos amigo. Siempre ayudándome a ver el otro lado de las cosas. En especial:

Al Dr. José Alejandro García Hinojosa, por ser una persona admirable, alguien dedicado a lo que hace y un gran ejemplo a seguir. Gracias por ser mi asesor de tesis y uno de los sinodales, por confiar en mí en todos los proyectos a los que me invitó a participar.

Al IQM Juan Manuel de la Rosa Canales, gracias porque a pesar de nunca haberme dado clases fue alguien que dejó huella en mí vida. Por ser un gran amigo y una gran apoyo cuando necesitaba ayuda o cuando no veía las cosas de forma subjetiva y necesitaba un consejo... ¡Gracias Juanito!

Al M. en I. Agustín Gerardo Ruiz Tamayo, gracias por ser parte de mis sinodales, por sus clases, por sus consejos, por su valiosa amistad y por su gran apoyo en la realización de esta tesis ya que sin su ayuda no hubiera sido posible su realización.

Al IQM Arturo Alejandro Sánchez Santiago, gracias por ser parte de mis sinodales, por sus clases y por sus consejos. Gracias por su amistad y por su apoyo durante mi carrera.

Al IQM Eusebio Cándido Atlatenco Tlapanco, gracias por ser un ingeniero ejemplar que transmite sus conocimientos a todos aquellos que la requieren, por ser parte de mis sinodales y por sus clases tan enriquecedoras.

Al M. en C. Adrian Manuel Amaro Villeda, gracias por sus clases, por sus consejos y por su amistad. Gracias por transmitirme sus conocimientos, ya que es una persona que admiro mucho y a la cual le aprendí bastante.

Al M. en C. Antonio Huerta Cerdán, gracias por sus consejos, por su ayuda brindada y, por guiarme por el mejor camino, cuando usted creía que no tomaba las mejores decisiones.

Al † IQM Ignacio Beltrán Piña (QPD), aunque ya no esté con nosotros le agradezco su amistad y todo su apoyo brindado cuando necesite de su ayuda.

Al Dr. Marco Antonio Talavera Rosales, por sus clases, por su amistad y por esos consejos que me han servido para pensar mejor las cosas

Gracias a METALURGICA ARTESANAL S.A. de C.V., por todas las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo, por su apoyo económico durante mi estancia en sus instalaciones y a todo su personal por su apoyo y calidez con la que me trataron. Un agradecimiento especial al Ing. Arturo Moctezuma y al Ing. Erik

Hernández, por la confianza otorgada que me brindaron para manipular su proceso poniendo en riesgo su producción.

Gracias a mi Familia, ya que sin su apoyo y sin su cariño no hubiera sido posible la culminación de mi carrera. Agradezco especialmente a:

Mamá Karina y a † Papá Chuchín (QPD). Porque ellos forjaron en mí carácter y decisión para hacer las cosas, por el esfuerzo que hicieron para darme estudios, porque siempre me dejaron tomar mis propias decisiones, porque nunca dejaron de apoyarme, porque siempre supieron sacar lo mejor de mí y supieron guiar mis pasos, por eso y muchas cosas más, gracias.

A Mamá Chelo y a † Papá Pepe (QPD). Gracias por todo el amor que a todos sus descendientes nos han sabido dar y por inculcar a todos sus hijos el camino de la rectitud que ellos han sabido inculcárnoslos a nosotros sus hijos.

A Inés y a mis hermanos Guadalupe, Paola y Ricardo. Gracias por todo el amor y el apoyo que me han brindado, de corazón espero que lleguen a la plenitud en su vida. No hay barrera que nos pueda vencer, todo en esta vida se puede... ¡sino me tienen a mí para salir adelante!

A mis tías Ma. Del Consuelo, Ana Rosa y Ma. Concepción, gracias por todo su apoyo, cariño y solidaridad. Cada una de ustedes, con su familia, me ha dotado de herramientas que me han ayudado a ser mejor persona y a dar lo mejor de mí, por lo que han sido pilares importantes en mi vida.

Gracias a toda mi familia de Mazatlán que me apoyo directamente o través de mi Mamá, cuando su ayuda era necesaria, en especial a mi tía Barbará Guadalupe que nunca ha dejado de apoyarnos y que siempre se a preocupado de que yo y mis hermanos estemos bien.

Gracias a mis Amigos de la Facultad, porque desde el primer día que los conocí supe que nuestra amistad sería un lazo que siempre nos unirá, porque para mí son más que solo amigos y porque hicieron mi vida de estudiante más amena y muy divertida. En especial a: Andrés Méndez, Arnoldo Martínez, José Carlos Páez, Edgar Zavala, Francisco Cortés, David Díaz, Oscar Arroyo, Carlos Peña, Armando Maldonado, Gabriel Moreno, Luis Villaverde, Mónica Garrido, Azucena Silis, Blanca Prado, Belen Abad, Viridiana Soriano, Nathalie Benhumea, Nathaly Galicia, Stephanie Vargas, Adriana Vera, Lizbeth Salazar, Marcela Hernández, Karina Camacho y Carla Morales.

Gracias a mis compañeros IQM's que siempre me brindaron más que una sonrisa y que mutuamente, de una u otra forma, siempre nos echamos la mano. En especial a: Francisco Estévez, Lamberto Díaz, Osvaldo Cisneros, Jorge Ibarra, David Ayala, Ángel Espinoza, Alan Kuri, Guillermo Tapia, Noemí Barajas, Anelle Palafox, Abril Pérez, Abril Balandra y, muy especialmente a Julio Ramos, por su ayuda brindada para la realización de esta tesis.

Gracias a todos aquellos que formaron parte directa o indirectamente de este proyecto...

¡Muchas Gracias!

Dedicatorias

A Mamá Karina:

porque gracias a ti he llegado a realizar uno de los anhelos más grandes de mí vida, fruto del amor, del esfuerzo, de la dedicación, por toda la confianza que en mí depositaste y por esa garra que tuviste para sacarnos a adelante, a mí y a mis hermanos. Por lo que esta Tesis te la dedico a ti, porque gracias a tú carácter y a tú determinación he podido culminar mis estudios profesionales, por lo que siempre te viviré eternamente agradecido.

A Mis Sobrinos:

por el inmenso amor que siento por ustedes y porque siempre los tengo presentes en mi pensamiento; Laura Elisa, Arlette, Luisa Fernanda, Natalia Alejandra y el pequeño Bruno.

A Guille:

*por todo su amor, apoyo y comprensión. Por hacerme fuerte en los momentos de flaqueza, por estar ahí cuando mí locura se desborda y por amarme como yo la amo...
¡Te amo mí cielo!*

A la Memoria de:

*Papá Chuchín,
Papá Pepé y
de Tío Beto.*

“Your time is limited, so don’t waste it living someone else’s life. Don’t be trapped by dogma, which is living with the results of other people’s thinking. Don’t let the noise of other’s opinions drown out your own inner voice. And most important, have the courage to follow your heart and intuition. They somehow already know what you truly want to become. Everything else is secondary.”

STEVE JOBS

Karina Díaz, Inés del Carmen García, Gonzalo Trejo, Gonzo Trejo, Isabel Trejo, Paquito Chacalco, Paco Chacalco, Conny Covarrubias, Natalia Alejandra Mendoza, Jhovany Mendoza, Ricardo Delgado, Bruno Delgado, Ana Rosa Covarrubias, Ana Meléndez, Ángel Romero, Edgar Rodríguez Covarrubias, Edgar Rodríguez, Karimme Rodríguez, Miguel Ángel Díaz, José Alfredo Díaz, José Vicente Díaz, Guillermo Badillo, Consuelo Osuna de Díaz, Karina Angelina Díaz, Hortensia Díaz, Martha Ofelia Díaz, María del Socorro Díaz,

Barbara Guadalupe Díaz, Reyna Leonor Díaz, Brito, Guillermo Jaramillo, Marielena Díaz, Irma del Rosario Díaz, Arela Brito, Guillermo Jaramillo, Bernardo Ariana Badillo, Omar Jaramillo Jaramillo, Hugo Badillo, Ángel Badillo,



Karina Badillo, Javier Vega, Barris Vega, Itzy Vega, Karina Badillo, Mónica Garrido, Azucena Silis, Blanca Prado, Belén Abad, Viridiana Soriano, Nathalie Benhumea, Nathaly Galicia, Stephanie Vargas, Adriana Vera, Lizbeth Salazar, Marcela Hernández, Karina Camacho, Carla Morales, Andrés Méndez, Arnoldo Martínez, José Carlos Páez, Edgar Zavala, Francisco Cortés, David Díaz, Oscar Arroyo, Carlos Peña, Armando Maldonado, Gabriel Moreno y Luis Villaverde,

Índice

| | | |
|---|--|----|
| I. | RESUMEN. | 1 |
| II. | OBJETIVOS. | 2 |
| 1. | OBJETIVO GENERAL. | 2 |
| 2. | OBJETIVOS PARTICULARES. | 2 |
| III. | HIPOTESIS. | 3 |
| CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN. | | 4 |
| CAPITULO 2: ANTECEDENTES. | | 5 |
| 2.1 | ALEACIONES DE ALUMINIO PARA FUNDICIÓN. | 5 |
| 2.1.1 | Aleaciones Al – Si. | 6 |
| 2.1.2 | Efecto del contenido de Cu en las aleaciones Al- Si. | 7 |
| 2.1.3 | Efecto del contenido de Fe en las aleaciones Al- Si. | 8 |
| 2.1.4 | Efecto del contenido de Ni en las aleaciones Al- Si. | 8 |
| 2.2 | MOLDEO DE ARENA EN VERDE. | 9 |
| 2.2.1 | Arcillas. | 11 |
| 2.2.2 | Bentonita. | 13 |
| 2.3 | FUNDICIÓN EN HORNO DE CRISOL. | 14 |
| 2.4 | ARTESANÍAS FABRICADAS CON PEWTER MEXICANO; ALEACIÓN CON MÁS DEL 90% DE ALUMINIO. | 15 |
| CAPITULO 3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL. | | 17 |
| 3.1 | DISEÑO EXPERIMENTAL. | 17 |
| 3.2 | EQUIPO Y MATERIALES. | 18 |
| 3.3 | MÉTODOS DE EVALUACIÓN. | 19 |
| 3.3.1 | Métodos de evaluación aplicados en la UNAM. | 19 |
| 3.3.2 | Métodos de evaluación aplicados en METALART. | 20 |
| 3.4 | DESARROLLO EXPERIMENTAL. | 22 |
| 3.4.1 | Fabricación de la liga Metálica Al - 4%Ni. | 24 |
| 3.4.2 | Fabricación de piezas con relaciones de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3. | 25 |
| 3.4.3 | Fabricación de piezas con 0.2% Ni y con relaciones de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3. | 26 |
| 3.4.4 | Fabricación de piezas con 0.4% Ni y con relaciones de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3. | 26 |
| 3.4.5 | Pruebas realizadas en METALART. | 27 |
| CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. | | 28 |
| 4.1 | PRUEBAS REALIZADAS EN LA UNAM. | 28 |
| 4.1.1 | Primera parte de las pruebas realizadas en el Laboratorio de la Facultad de Química de la UNAM. | 28 |
| 4.1.2 | Segunda parte de las pruebas realizadas en el Laboratorio de Fundición de la Facultad de Química de la UNAM. | 35 |
| 4.2 | EVALUACIÓN DE LAS PIEZAS FABRICADAS EN LA UNAM MEDIANTE EL PROCESO UTILIZADO EN METALART. | 44 |

| | | |
|---------------------------------------|--|-----------|
| 4.5 | DUREZA, RESISTENCIA AL PULIDO Y ABRILLANTADO DE LAS PIEZAS FABRICADAS EN LA UNAM SEGÚN EL MÉTODO DE EVALUACIÓN DE METALART. | 63 |
| 4.6 | PIEZAS FABRICADAS EN METALART CON DIFERENTES RELACIONES DE Fe/Cu Y CON DISTINTOS CONTENIDOS DE Ni. | 70 |
| 4.6.1 | Piezas fabricadas en METALART con relación de Fe/Cu 1:2. | 71 |
| 4.6.2 | Piezas fabricadas en METALART con una relación de Fe/Cu 1:2 + 0.2% de Ni. | 74 |
| 4.6.3 | Piezas fabricadas en METALART con una relación de Fe/Cu 1:2 + 0.26% de Ni. | 77 |
| CAPITULO 5: CONCLUSIONES. | | 82 |
| BIBLIOGRAFÍA. | | 85 |
| ANEXOS. | | 87 |
| | ANEXO 1. EJEMPLOS DE BALANCES DE CARGA. | 87 |
| | ANEXO 2. EVALUACIÓN DEL EXPERTO PULIDOR DE METALART A LAS PIEZAS FABRICADAS EN LA UNAM. | 91 |
| | ANEXO 3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LIGA METÁLICA AL – 4%Ni. | 96 |
| | ANEXO 4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS PIEZAS FABRICADAS EN LA UNAM. | 97 |
| | ANEXO 5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS PIEZAS FABRICADAS EN LA METALART. | 107 |
| | ANEXO 6. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL Ni ELECTROLÍTICO QUE SE ADQUIRIÓ PARA HACER LAS PRUEBAS EN METALART. | 110 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Tipos de hornos de crisol: (a) crisol móvil, (b) crisol estacionario y (c) crisol basculante. | 15 |
| Figura 2. Características de la placa modelo..... | 23 |
| Figura 3. Pieza (plato botanero) preliminar colada a 790 - 800°C. | 29 |
| Figura 4. Molde de arena en verde..... | 30 |
| Figura 5. Piezas (platos botaneros) con relaciones Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3 coladas 790 - 800°C..... | 31 |
| Figura 6. Piezas (platos botaneros) con relaciones Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3 coladas 760 - 770°C..... | 32 |
| Figura 7. Variación de dureza Brinell para las piezas (platos botaneros) con relación Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3. | 34 |
| Figura 8. Piezas (platos botaneros) con 0.2% de Ni con relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3 coladas a 760 - 770°C. | 37 |
| Figura 9. Variación de dureza Brinell para las piezas (platos botaneros) con 0.2% de Ni y relación Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3..... | 39 |
| Figura 10. Piezas (platos botaneros) con 0.4% de Ni con relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3 coladas a 760 - 770°C. | 40 |
| Figura 11. Variación de dureza Brinell para las piezas (platos botaneros) con 0.4% de Ni y relación Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3..... | 42 |
| Figura 12. Gráfico comparativo de durezas Brinell para las piezas (platos botaneros) con los diferentes contenidos de Ni y con relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3..... | 43 |
| Figura 13. Corte de corredores, alimentadores y bajadas de las piezas de aluminio fabricadas. | 45 |
| Figura 14. Arreglo de las imperfectos derivadas de fundición. | 45 |
| Figura 15. Lijado externo de la pieza. | 46 |
| Figura 16. Lijado externo de la pieza. | 46 |
| Figura 17. Vista interna y externa de la pieza después del lijado. | 47 |
| Figura 18. Asentamiento de la pieza..... | 47 |
| Figura 19. Pulido mecánico en tina de vibrado..... | 48 |
| Figura 20. Herramental utilizado para reparar poros en piezas artesanales..... | 49 |
| Figura 21. Partículas de escoria ricas en aluminio. | 49 |
| Figura 22. Sellado de cavidades con piedras de escoria. | 50 |
| Figura 23. Parte externa de la pieza artesanal después del pre-acabado. | 50 |
| Figura 24. Parte interna de la pieza artesanal después del pre-acabado..... | 51 |
| Figura 25. Pulido desvanecedor de rayas gruesas en ambas partes de la pieza artesanal después del pre- acabado. | 52 |
| Figura 26. Pulido desvanecedor de rayas gruesas en ambas partes de la pieza después del pulido con el primer esmeril..... | 53 |
| Figura 27. Parte externa de las piezas artesanales después del pulido con los dos primeros esmeriles... | 53 |
| Figura 28. Pulido desvanecedor de rayas gruesas en ambas partes de la pieza artesanal después del pre- acabado. | 54 |
| Figura 29. Pieza pulida con lija grano 100 de Al ₂ O ₃ (en ambas partes pieza artesanal) para desvanecer rayas gruesas ocasionadas en el pre-acabado. | 54 |

| | |
|--|----|
| Figura 30. Pulido desvanecedor de rayas gruesas en ambas partes de la pieza artesanal después del pulido con la lija de grano 100. | 55 |
| Figura 31. Pieza pulida con lija grano 240 de Al_2O_3 (en ambas partes pieza artesanal) para desvanecer rayas gruesas que siguen en la pieza después del pulido con la lija de grano 100 de Al_2O_3 | 55 |
| Figura 32. Pulido desvanecedor que afina las posibles rayas gruesas, en ambas partes de la pieza. | 56 |
| Figura 33. Piezas pulidas con una lija de grano 400 de Al_2O_3 (en ambas partes pieza) que muestran una raya más fina y un mejor acabado de la pieza. | 56 |
| Figura 34. Abrillantado de la parte externa de las piezas con un sisal grande. | 57 |
| Figura 35. Abrillantado de la parte interna de las piezas con un sisal pequeño..... | 58 |
| Figura 36. Piezas después del abrillantado con el sisal..... | 58 |
| Figura 37. Pieza abrillantada, en la parte interna, con una manta de menor tamaño. | 59 |
| Figura 38. Pieza abrillantada, en la parte externa, con una manta de mayor tamaño. | 59 |
| Figura 39. Piezas después del proceso de pulido y abrillantado listas para ser lavadas y empaquetadas. | 60 |
| Figura 40. La figura del lado izquierdo muestra la parte interna de la pieza artesanal y la figura del lado derecho muestra la parte externa de la misma pieza artesanal. | 61 |
| Figura 41. Pastas JACKSONLEA..... | 61 |
| Figura 42. Forma de utilizar las pastas JACKSONLEA. | 62 |
| Figura 43. Incorporación de las lijas utilizadas en el proceso. | 62 |
| Figura 44. Vista del pulido con las lijas incorporadas en la rueda de manta. | 63 |
| Figura 45. Piezas (platos botaneros) fabricadas en la Facultad de Química..... | 67 |
| Figura 46. Dureza HBW10 de piezas suaves y duras fabricadas en METALART..... | 69 |
| Figura 47. Piezas ornamentales (barcos botaneros) fabricadas en METALART, una con relación de Fe/Cu 1:2 y la otra con la aleación convencional. | 72 |
| Figura 48. Dureza de pieza (sandalia) con relación de Fe/Cu 1:2 vs. Dureza de pieza con la aleación que ocupa METALART en sus piezas, aleación 356.2MA. | 73 |
| Figura 49. “Sandalia” fabricada con una aleación 356.2MA con 0.2% de Ni y una relación Fe/Cu 1:2..... | 75 |
| Figura 50. Dureza de pieza (joyero) con relación de Fe/Cu 1:2 + 0.2% de Ni vs. Dureza de pieza (plato botanero) con la aleación que ocupa METALART en sus piezas, aleación 356.2MA. | 76 |
| Figura 51. Joyero fabricado con una aleación 356.2MA modificada para que contuviera 0.26% de Ni y una relación Fe/Cu 1:2. | 78 |
| Figura 52. Dureza de pieza (joyero) con relación de Fe/Cu 1:2 + 0.26% de Ni vs. Dureza de pieza (plato botanero) con aleación 356.2MA..... | 79 |
| Figura 53. Variación de dureza Brinell de las piezas fabricadas en METALART..... | 80 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Diseño experimental: relación Fe/Cu y Ni en las piezas..... | 18 |
| Tabla 2. Composición química de la aleación 356.2MA. | 29 |
| Tabla 3. Contenidos de Fe y Cu experimentales en las tres piezas (relación Fe/Cu)..... | 33 |
| Tabla 4. Dureza Brinell de las piezas (platos botaneros) con relaciones Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3..... | 33 |
| Tabla 5. Composición Química de la aleación 356.2MA, segunda parte de las pruebas en la UNAM. | 35 |
| Tabla 6. Dureza Brinell de las piezas (platos botaneros) con 0.2% de Ni y relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3. | 38 |
| Tabla 7. Dureza Brinell de las piezas (platos botaneros) con 0.4% de Ni y relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3. | 41 |
| Tabla 8. Resultados de piezas pulidas (platos botaneros) por el Departamento de pulido, fabricadas en los laboratorios de la Facultad de Química de la UNAM..... | 64 |
| Tabla 9. Comentario del Departamento de pulido. | 65 |
| Tabla 10. Dureza Brinell de “sandalia” con relación de Fe/Cu 1:2..... | 72 |
| Tabla 11. Composición química de la “sandalia” con relación de Fe/Cu 1:2. | 73 |
| Tabla 12. Composición química del plato botanero de la aleación 356.2MA. | 74 |
| Tabla 13. Dureza Brinell del JOYERO con relación de Fe/Cu 1:2 + 0.2% de Ni..... | 75 |
| Tabla 14. Composición química de la “sandalia” con relación de Fe/Cu 1:2 + 0.2% de Ni. | 76 |
| Tabla 15. Dureza Brinell del “joyero” con relación de Fe/Cu 1:2 + 0.2% de Ni..... | 78 |
| Tabla 16. Composición química de la “sandalia” con relación de Fe/Cu 1:2 + 0.2% de Ni. | 79 |

I. RESUMEN.

En la presente tesis se estudio a la aleación utilizada en Metalúrgica Artesanal S.A .de C.V. para fabricar sus piezas ornamentales que en su gran mayoría son exportadas a los Estados Unidos de Norteamérica. Dicho estudio se realizo con el objetivo principal de aumentar el brillo de las piezas que ahí se fabrican, mediante el control de la relación de Fe/Cu con bajos contenidos de Ni y utilizando la misma técnica de fusión y las mismas condiciones empleadas en la planta: (1) se controlo la relación 1:1, 1:2 y 1:3 de Fe/Cu sin Ni y, (2) las mismas relaciones de Fe/Cu con 0.2 y con 0.4% de Ni.

Las pruebas experimentales se realizaron en el Laboratorio de Fundición de la Facultad de Química de la UNAM, en donde se fabricaron platos con un molde de la empresa, los cuales sirvieron para observar el efecto en la aleación 356.2MA y relacionarlo con el contenido de Fe, Cu y Ni adecuados para lograr las características físicas antes mencionadas.

A cada uno de los platos fabricados se les evaluó dureza Brinell en las instalaciones de la Facultad y se les evaluó el brillo en la planta mediante el criterio de experto pulidor de la misma.

Con los resultados obtenidos, de las dos evaluaciones realizadas, se seleccionaron a todas las piezas con mayor dureza y con mayor brillo las cuales se analizaron con el fin de llevar a gran escala por lo menos una fusión con alguna de las composiciones químicas de las piezas con las mejores cualidades requeridas. Lo cual varió y se modificó con respecto al comentario del Departamento de pulido (experto pulidor) hasta llegar a una pieza ideal que le proporcionaba un color único y una dureza alta al lote experimental de las piezas fabricadas en planta.

II. OBJETIVOS.

1. Objetivo general.

- Realizar un estudio sistemático de la adición de Fe/Cu y Ni para determinar el efecto que tienen sobre la dureza y la calidad del pulido (abrillantado) de la aleación de aluminio 356.2MA, utilizada para la fabricación de piezas artesanales coladas en moldes de arena en verde.

2. Objetivos particulares.

- Determinar el efecto de las relaciones Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3 en la aleación 356.2MA sobre la dureza y el abrillantado de una pieza artesanal colada en molde de arena en verde
- Determinar el efecto que tienen 0.2 %Ni en la aleación 356.2MA en conjunto con las relaciones Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3 sobre la dureza y el abrillantado de piezas artesanales coladas en molde de arena en verde.
- Determinar el efecto que tiene 0.4 %Ni en la aleación 356.2MA en conjunto con las relaciones Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3 sobre la dureza y el abrillantado de piezas artesanales coladas en molde de arena en verde.
- Realizar pruebas en planta (Metalúrgica Artesanal) con el propósito de que expertos en el acabado de las piezas evalúen la trabajabilidad (pulibilidad y acabado) de piezas con composiciones químicas seleccionadas en base a los resultados obtenidos en laboratorio.

III. HIPOTESIS.

Es posible incrementar la dureza y la brillantez de aleaciones Al-Si coladas en molde de arena por introducción de pequeñas cantidades de elementos de aleación que promueven la precipitación de fases complejas y duras.

Es factible mejorar la trabajabilidad (pulido y abrillantado) en piezas artesanales fabricadas de la aleación 356.2MA¹ coladas en molde de arena en verde bajo ciertas relaciones Fe/Cu y contenidos bajos de níquel que afectan la dureza y microestructura de la aleación.

¹ La aleación denominada 356.2MA es la aleación utilizada en METALURGICA ARTESANAL S.A. DE C.V. para fabricar sus piezas artesanales. Se le denomina así debido a que no se trata de una aleación

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.

Las artesanías populares adquieren una especial importancia en la actualidad, no solo porque son auténticas expresiones de la cultura de los pueblos. También constituyen una fuente permanente de trabajo y de ingresos para amplios sectores de la población.

Desde hace 28 años, en Metalúrgica Artesanal S.A. de C.V., se han dedicado a fabricar piezas de aluminio fundido y pulido, para satisfacer las necesidades del mercado de la decoración y los regalos en México y los Estados Unidos,

Esta necesidad de pulir las piezas fundidas para lograr un producto de calidad de exportación ha demandado un constante trabajo de investigación y desarrollo de mejores métodos de fabricación, así como la implementación de estrictos controles de calidad en todos los procesos, para lograr piezas fundidas libres de inclusiones, porosidades, y cualquier otro defecto que por minúsculo que sea puede ser descubierto por la acción del pulido.

Por lo que la preocupación de obtener una reconocida calidad en el acabado de las piezas ornamentales que fabrican y para que estas sean admiradas no lo solo a nivel nacional. Ha provocado una serie mejoras como la que se plantea en este proyecto para aumentar la dureza de las piezas y dar a las mismas un mejor brillo con una menor resistencia al pulido, haciendo con esto que el proceso de manufactura, que dicha compañía ocupa, sea más eficiente, que se fabriquen piezas con un brillo único y que cada vez más se asemejen más a la plata.

Aunque la bibliografía en general reporta el efecto de ciertos elementos aleantes sobre algunas propiedades de fundición y especialmente las mecánicas y microestructurales, para las aleaciones de aluminio, en el caso de las propiedades de acabado la información es incipiente, por lo que se parte de algunos características tecnológicas de fundición y del efecto de aleantes sobre la dureza de las aleaciones base aluminio en condición de colada.

CAPITULO 2: ANTECEDENTES.

El espacio dedicado a los antecedentes de este proyecto busca dar como hecho las circunstancias del pasado que influyeron en los hechos posteriores y que servirán como base para juzgar y entender los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo de esta tesis. Es decir, que en este apartado se difunde la información previa a las pruebas realizadas dando a conocer a los lectores la teoría, el equipo, los parámetros, las circunstancias y muy posiblemente los alcances que pudiera tener tal proyecto, para que ésta información sirva como base de la investigación y para entender los resultados obtenidos.

2.1 Aleaciones de Aluminio para Fundición.

La fabricación de piezas ornamentales de aluminio coladas en molde de arena en verde en un principio no necesita de ningún requerimiento microestructural y/o de propiedades mecánicas debido a su aplicación final. Sin embargo, al igual que cualquier pieza de fundición, necesita cumplir con ciertas especificaciones que la hagan adecuada para una benéfica comercialización. Entre las características de proceso y/o tecnológicas que debe tener esta aleación se encuentra: una adecuada fluidez, carencia de fracturas en caliente durante la solidificación, no presentar excesivos microrrechupes especialmente superficiales y evitar la absorción excesiva de hidrógeno que cause porosidad, entre otras. Desde el punto de vista de pieza terminada, esta debe ser lo más lisa posible, no ser demasiado suave para reducir problemas durante el acabado y pulido, ni ser demasiado dura para que no se prolonguen estas operaciones. Finalmente una de las características más importantes es que tenga una elevada brillantez similar a la de la plata y que durante la etapa final de pulido no presente ralladuras u opacamiento superficial, ya que el aspecto constituye la característica esencial de estos productos.

Las aleaciones de aluminio y en particular la aleación de interés en este proyecto la denominada 356.2MA, la cual contiene 6.5 % Si como principal elemento aleante.

2.1.1 Aleaciones Al – Si.

Las aleaciones coladas Al – Si son las más versátiles de todas las aleaciones de fundición y generalmente, tienen alta colabilidad, y buena fluidez para llenar secciones delgadas, punto de fusión bajo en relación a otras aleaciones.

Estas aleaciones siguen en importancia a las del Al – Cu. El porcentaje de silicio suele variar del 5 al 20%. El contenido de silicio que va desde un 4% hasta los niveles eutécticos de 12%, reduce las pérdidas en la escoria y permite la producción de diseños más intrincados y con mayores variaciones en el espesor, así como un aumento en el rendimiento de la fundición con una mayor superficie y calidad interna.

El diagrama de fases del sistema Al-Si, que es muy sencillo, no forma más que una solución sólida α de silicio en aluminio y una solución sólida β de aluminio en silicio, aunque algunos autores consideran la fase β como silicio elemental. Y en este caso la eutéctica estaría formada por $\alpha + \text{Si}$.

Este sistema solo tiene un punto eutéctico que corresponde a la proporción de 11.6% de Si y cuya temperatura es 577°C.

El silicio endurece al aluminio y, sobre todo, aumenta su fluidez en la colada y su resistencia a la corrosión. Las aleaciones Al-Si son muy dúctiles y resistentes al choque; tienen un bajo coeficiente de dilatación y una elevada conductividad calorífica y eléctrica, pero son difíciles de mecanizar por la naturaleza abrasiva del silicio. Además, el silicio mejora las características de fundición, reduce la densidad y el coeficiente de expansión térmica, la resistencia a la fractura en caliente (hot tears), y las características de alimentación. Las aleaciones Al-Si son las de mayor aplicación.

La principal aplicación de las aleaciones aluminio-silicio son la fundición de piezas difíciles, pero buenas cualidades de moldeo, y la fabricación de piezas para la marina, por su resistencia a la corrosión.

Las propiedades mecánicas de aleaciones aluminio-silicio pueden mejorarse añadiendo a la olla de colada de estas aleaciones cloruro sódico o una mezcla de fluoruro y cloruro sódico. Esta operación incorpora una pequeña cantidad de sodio, inferior al 0.01% a la aleación pero suficiente para variar la concentración eutéctica del 11.6% al 13% y bajar la temperatura eutéctica de 577°C a 570°C.

Pero sobre todo las aleaciones Al-Si modificadas con esta adición resultan con un grano extremadamente fino en lugar de las agujas o láminas en que cristaliza el silicio en las aleaciones sin modificar.

Esta mejora en la estructura micrográfica se traduce en una notable mejora de las propiedades mecánicas de aleaciones modificadas, y concretamente, de su ductilidad, resistencia al choque, resistencia mecánica e incluso de su resistencia a la corrosión.

2.1.2 Efecto del contenido de Cu en las aleaciones Al- Si.

El cobre permite lograr el máximo nivel de resistencia de las aleaciones Al-Si. Su concentración podría alcanzar el nivel de 8.7%. Esto implica que en algunas aleaciones de fundición, por ejemplo, Al-5Si-7Cu la concentración de cobre es mayor que la del silicio. Sin embargo, no es práctico utilizar más de 4 – 5%Cu, debido a que su solubilidad máxima en el sistema es ligeramente superior al 4%. Al mismo tiempo, las fases eutécticas ejercen una fuerte influencia negativa sobre la plasticidad y otras propiedades mecánicas de estas aleaciones.

El Cu en las aleaciones de Al – Si aumenta de manera notable la resistencia a la tracción y la dureza, tanto en condiciones de extrusión como tratado térmicamente. Por lo general, el cobre reduce la resistencia a la corrosión y, en ambientes muy específicos en ciertos tipos de aleaciones, induce a la corrosión bajo tensión.

Algunas de las características desfavorables del Cu son su tendencia al agrietamiento en caliente y la disminución de la colabilidad en piezas fundidas.

El cobre endurece mucho el aluminio, por lo que estas aleaciones poseen propiedades mecánicas excepcionales, pero mantienen la buena maquinabilidad y ligereza que posee el aluminio.

2.1.3 Efecto del contenido de Fe en las aleaciones Al- Si.

El Fe es altamente soluble en las aleaciones de aluminio en estado líquido pero virtualmente insoluble (0.04% Fe) a temperatura ambiente. Por ello aparecen como compuestos intermetálicos insolubles, siendo los más comunes Al_3Fe , Al_6FeMn y $\alpha AlFeSi$.

El contenido de Fe mejora la resistencia al agrietamiento en caliente, la resistencia a la fluencia a altas temperaturas y disminuye la tendencia a la adhesión en fundición a presión. El hierro refina el grano en los lingotes de fundición. Un incremento en el contenido de hierro aumenta la resistencia mecánica pero disminuye notablemente la ductilidad, por la presencia de las segundas fases. En presencia de altos contenidos de hierro, dichas fases afectan adversamente la colabilidad y las características de alimentación de las piezas fundidas.

2.1.4 Efecto del contenido de Ni en las aleaciones Al- Si.

El Ni por su parte es un aleante poco común en el aluminio. Se suele utilizar con el cobre para mejorar propiedades a elevadas temperaturas ya que puede llegar a formar una solución sólida.

El níquel junto con el hierro forma el compuesto Al_9FeNi . Sus inclusiones eutécticas pueden tener morfologías diferentes (esquelético, fino disperso y compacto) como una función de composición de la aleación y de la rapidez de solidificación. Los cristales primarios de este compuesto intermetálico son muy gruesos y, por consiguiente, indeseables en la microestructura. Cuando el Ni y el Cu están presentes en la composición de la aleación Al – Si, uno podría esperar la formación de dos compuestos Al_6Cu_3Ni y $Al_3(Ni,Cu)_2$, que causan el agotamiento del Cu en la matriz de aluminio, aún

después de la extinción. Cuando la concentración de níquel es de al menos del 4% (si $C_{Fe} < 0.1\%$) entonces la formación de los cristales primarios de las fases Al – Ni es apenas posible. El níquel entra en la composición química de muchas aleaciones de Al – Si, a veces en cantidades bastante sustanciales (del 2 - 3%). Esto explica su influencia positiva sobre las características de estabilidad térmica y el coeficiente de extensión térmica.

Se cree que el endurecimiento provocado por la adición de Ni junto con el aumento del Cu en la relación Fe/Cu, de la aleación 356.2MA, provocó una modificación en la estructura de las piezas artesanales fabricadas, por lo que la trabajabilidad de las piezas disminuyó al tener una superficie muy dura y esto conllevó a la disminución de las rayas en la superficie de dichas piezas, producto del pulido y abrillantado, mejorando la apariencia de las piezas.

2.2 Moldeo de arena en verde.

El moldeo en arena verde es el más sencillo y versátil de los procesos de fundición del aluminio. Normalmente este proceso es elegido para la producción de cantidades pequeñas de piezas fundidas idénticas, para piezas fundidas complejas con núcleos complicados, para grandes piezas fundidas y para piezas fundidas para la construcción. Este moldeo consiste en la elaboración de Moldes con arena húmeda y colada directa del metal fundido. Es excelente para trabajar con todo tipo de metales y, para piezas de tamaño pequeño y medio.

Las arenas de moldeo en verde están compuestas por arena y arcilla, generalmente bentonita, que proporciona cohesión y plasticidad a la mezcla, facilitando su moldeo y dándole resistencia suficiente para conservar la forma adquirida después de retirar el modelo y mientras se vierte el material fundido.

La proporción de las bentonitas en la mezcla varía entre el 5 y el 10%, pudiendo ser ésta tanto sódica como cálcica, según el uso a que se destine el molde. La bentonita sódica se usa en fundiciones de mayor temperatura que la cálcica por ser más estable a altas temperaturas, suelen utilizarse en fundición de acero, hierro dúctil y maleable y en

menor medida en la gama de los metales no férreos. Por otro lado la bentonita cálcica facilita la producción de moldes con más complicados detalles y se utiliza, principalmente, en fundición de metales no férreos.

Es un método que consiste en la elaboración de moldes partiendo de la mezcla de:

[Arena de Sílice] + [Bentonita a un 10 %] + [Agua (2.5 – 4% de humedad)]

Esta primera elaboración de la mezcla se denomina Arena de contacto o arena de careo, tras su primera utilización, esta mezcla es reutilizable como Arena de relleno, la cual al añadirle agua, vuelve a recuperar las condiciones para el moldeo de piezas.

Existen dos tipos de moldeo en verde:

1. *Moldeo manual*: Consiste en el moldeo realizado de forma manual, y por lo tanto de una manera artesanal. Este tipo de modelaje se está perdiendo en la actualidad debido a la especialización, a la desaparición progresiva de los operarios de fundición y a la utilización de las máquinas de moldeo.
2. *Moldeo en máquina*: Consiste en el moldeo realizado por medio de una máquina de moldeo. Existen en la actualidad distintos tipos de maquinas para este fin: las máquinas multifunción, máquinas multi-pistones y máquinas automáticas. La utilización de estos tipos de máquinas ha facilitado la automatización de este proceso, aumentando notablemente las cantidades productivas.

Ventajas del Moldeo en Arena Verde:

- Posibilidad de obtención de piezas delgadas (aprox. 3mm de espesor)
- Posibilidad de utilización en casi todo tipo de metales y aleaciones.
- Resistente a altas temperaturas.
- Es un proceso más barato que el resto de los procesos de fundición.
- No requiere de tolerancias especiales.
- El acabado es uniforme y liso.
- El moldeo es bastante simple.
- El material del molde es reciclable (aprox. 95% de la arena)
- Costos de materiales bajos y proceso flexible.

Desventajas del Moldeo en Arena Verde:

- No es adecuado para piezas muy grandes.
- No se obtienen tolerancias reducidas.
- No es adecuado para piezas de geometría compleja.
- No se obtienen acabados superficiales óptimos.

2.2.1 Arcillas.

Las arcillas son aquellas sustancias terrosas formadas principalmente por silicatos aluminicos con materia coloidal y trozos de fragmentos de rocas, que generalmente se hacen plásticas cuando están húmedas y pétreas por la acción del fuego. Estas propiedades dan a las arcillas su utilidad, puesto que se les puede moldear en casi todas las formas, las cuales conservan después de ser sometidas a la acción del fuego. La arcilla tiene muchos otros usos además de la cerámica, principalmente en la construcción y fabricación.

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados:

- Son un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades fisico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2 mm).
- Desde el punto de vista petrológico² la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Para un sedimentólogo³, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2 mm.
- Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica. Desde

² **Petroológico:** relativo a la Petrología. La Petrología es ciencia que estudia las rocas.

³ **Sedimentólogo:** relativo a la Sedimentología. La Sedimentología es la rama de la geología que se encarga de estudiar los procesos de formación, transporte y deposición de material que se acumula como sedimento en ambientes continentales y marinos y que normalmente forman rocas sedimentarias.

el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 2 mm.

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

Propiedades de las arcillas.

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades fisico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 mm)
- Su morfología laminar (filosilicatos)
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interaccionar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades reológicas en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga en las láminas se compensa, como ya se ha citado, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta

propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico y es también la base de multitud de aplicaciones industriales.

2.2.2 Bentonita.

La Bentonita es una roca compuesta por más de un tipo de minerales. La Bentonita es un silicato de aluminio hidratado perteneciente al grupo de las arcillas esmectitas⁴. Su estructura laminar, su capacidad de intercambio catiónico, su poder de hinchamiento, su estabilidad térmica, entre otras propiedades, le confiere algunas ventajas las cuales son aprovechadas en un amplio campo de aplicación.

Su definición parte de 1888 en que fueron descubiertas y clasificadas como tales en Fort-Benton, Wyoming, U.S.A., a causa de una bentonita que poseía propiedades muy especiales, particularmente la de hincharse en el agua, dando una masa voluminosa y gelatinosa. Las especificaciones desarrolladas por las asociaciones de industrias de fundición para las Bentonitas, abarcan propiedades tales como contenido de humedad, índice de hinchamiento, valor de pH y límite líquido entre otras.

La bentonita se utiliza en la fabricación de moldes para fundición, a pesar de que la industria ha empezado a utilizar otras tecnologías y ha ido sustituyendo a las bentonitas por otros productos. Las bentonitas son también llamadas "arcillas activadas" debido a su afinidad en ciertas reacciones químicas causada por su excesiva carga negativa. Además, las bentonitas se dividen en sódicas y cálcicas:

1. *Bentonita Sódica*: Es una Montmorillonita⁵ que se encuentra en forma natural y que contiene un alto nivel de iones de sodio. Se hincha al mezclarse con el agua. También se conoce como "Wyoming Bentonita" o "Western Bentonita".

⁴ **Esmectitas**: filosilicatos trilaminares (T : O : T), de fórmula compleja. Se pueden dividir en esmectitas dioctaédricas y trioctaédricas. Las esmectitas dioctaédricas tienen aluminio como catión mayoritario en posición octaédrica (*montmorillonita* y *beidellita*) o hierro (*nontronita*). Las esmectitas trioctaédricas tienen, mayoritariamente, Mg²⁺ en posición octaédrica.

⁵ **Montmorillonitas**: Arcillas esmécticas con una estructura de capas. El ión aluminio predomina en la estructura pero puede ser reemplazado por otro ión metálico formando una gran variedad de minerales.

2. *Bentonita Cálcica*: Es una Montmorillonita en la que el catión intercambiable predominante es el calcio. No exhibe la capacidad de hinchamiento de la bentonita sódica, pero tiene propiedades absorbentes. También es llamada "Southern, Texas o Mississippi Bentonite".

2.3 Fundición en Horno de Crisol.

En estos hornos se funde el metal, sin entrar en contacto directo con los gases de combustión. Por esta razón se llaman algunas veces hornos calentados indirectamente. Hay tres tipos de hornos de crisol que se usan en las plantas de fundición: (a) tipo crisol móvil, (b) estacionario o fijo y (c) basculante o inclinable. Utilizan un crisol hecho de un material refractario apropiado (por ejemplo, mezcla de arcilla y grafito) o acero aleado de alta temperatura para contener la carga. En el horno de crisol móvil, el crisol se coloca en un horno que usa aceite, gas o carbón pulverizado para fundir la carga metálica. Cuando el metal se funde, el crisol se levanta del horno y se usa como cuchara. Los otros dos tipos llamados hornos de crisol (pot furnace) con quemador integrado tienen un horno de calentamiento y un recipiente integrados. En el horno de crisol estacionario con quemador integrado (stationary pot furnace), el horno es estacionario y el metal fundido se cucharea fuera del recipiente. En el horno de crisol basculante con quemador integrado (tilting-pot furnace), el dispositivo entero se puede inclinar para vaciar la carga. Los hornos de crisol se usan para metales no ferrosos como el bronce, el latón y las aleaciones de zinc y de aluminio.

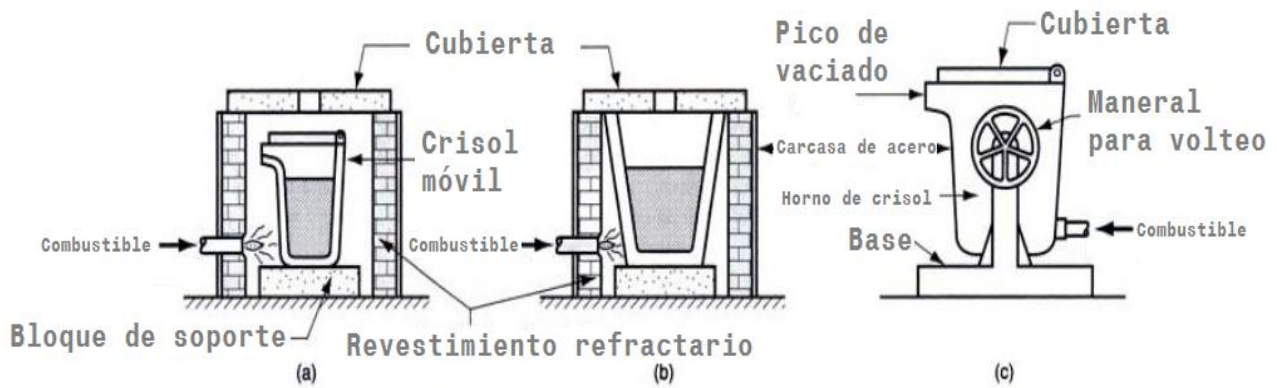


Figura 1. Tipos de hornos de crisol: (a) crisol móvil, (b) crisol estacionario y (c) crisol basculante.

(Mikell P. Groover, "Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos y Sistemas".

Massachusetts: Pearson Prentice Hall, 1997)

En METALART cuentan con dos hornos de crisol estacionarios de combustión a gas (Lp) con soplador eléctrico centrífugo para maximizar la combustión, los cuales proporcionan a la planta una capacidad de 250 – 300Kg de aluminio por hora. Los crisoles utilizados son de carburo de silicio y grafito con capacidades de 200 y 500Kg.

El horno de colado cuenta con un controlador electrónico marca Hi-te.inc el cual regula la temperatura del horno con lanzas de inmersión y pirómetros digitales.

2.4 Artesanías fabricadas con Pewter Mexicano; aleación con más del 90% de aluminio.

El Pewter, es una aleación francesa destinada a la elaboración de objetos de carácter únicamente decorativo, ya que en algunos casos contiene entre otros elementos porcentajes mínimos de plomo, lo cual es imposible utilizarla para objetos domésticos ya que puede alterar las propiedades de los alimentos y como consecuencia afectar nuestra salud.

La palabra **PEWTER** es un vocablo inglés, en español quiere decir peltre y se pronuncia piúter.

Tradicionalmente hay tres tipos de pewter:

- i. **Fino:** *Material de cubiertos.* Compuesto de 96-99% de estaño y 1-4% de cobre.
- ii. **Trifle:** *También para cubiertos y vajillas rústicas.* Compuesto de 92% de estaño, 1-4% de cobre y arriba del 4% de plomo.
- iii. **Lay:** También llamado Ley. No se utiliza en cubiertos, por contener arriba del 15% de plomo.

En México, hay muchas empresas que se dedican a elaborar piezas artesanales con un metal blanco llamado **PEWTER MEXICANO**. Dicho metal es una aleación con más del 90% de Aluminio, ventaja significativa respecto del original por la seguridad e higiene con que se puede utilizar en la presentación de alimentos y sobre todo por su aspecto brillante que se conserva mucho más que la mayoría de los metales, incluyendo la plata.

En el caso de METALURGICA ARTESANAL S. A. de C.V., esta empresa se ha preocupado por elaborar un nuevo desarrollo basado en la aleación base aluminio antes mencionada, cuidando minuciosamente que no incluya ningún tipo de contaminación en la aleación para la elaboración del Aluminio Artesanal conocido como Pewter, el cual combina la elegancia de la plata y la practicidad del acero inoxidable manteniendo su brillo original por años.

Dado que los elementos de elaboración de los productos que METALART ofrece son de un sistema aluminio – silicio con un mínimo de cobre, dan como resultado un producto resistente, doméstico, decorativo artesanal, de fácil cuidado, y de gran versatilidad pues su acabado al alto pulido permite que no sufra despostillamientos, quebraduras, oxidaciones o ennegrecimiento.

Por lo antes mencionado, pueden tener contacto directo con los alimentos sin alterar sus propiedades.

Con este material se logra una extensa gama de diseños distintos, bien sea en la rama de lo utilitario, donde se puede preparar, cocinar y servir directamente del horno a la mesa, o una extraordinaria pieza decorativa.

CAPITULO 3. PROCEDIMIENTO

EXPERIMENTAL.

Dentro del procedimiento experimental destacan cuatro puntos, los cuales fueron el *diseño experimental* que muestra como se llevaran a cabo las pruebas pertinentes para este proyecto. El segundo punto es el *desarrollo experimental*, en donde se explican brevemente los pasos mostrados en el diseño experimental, en el siguiente punto, que se refiere al *equipo y material* se hace una referencia a todo lo que se utilizo para llevar a cabo dicho proyecto. Por último, el punto final se refiere al *método de evaluación*, es decir, como se midió la dureza de las piezas ornamentales fabricadas, así como explicar el método de pulido y abrillantado utilizado para estimar la composición química de la pieza con la mayor facilidad para el pulido y con mejor calidad en brillo, a esta condición se le llama trabajabilidad.

3.1 Diseño experimental.

El diseño experimental para evaluar las diversas combinaciones de las relaciones Fe/Cu y los contenidos de Ni, se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Diseño experimental: relación Fe/Cu y Ni en las piezas.

| Identificación | Relación Fe/Cu* | Contenido de níquel |
|----------------|-----------------|---------------------|
| MA1/1 -0 | 1/1 | 0.0 |
| MA1/1-0.2 | | 0.2 |
| MA1/1-0.4 | | 0.4 |
| MA1/2-0 | 1/2 | 0.0 |
| MA1/2-0.2 | | 0.2 |
| MA1/2-0.4 | | 0.4 |
| MA1/3-0 | 1/3 | 0.0 |
| MA1/3-0.2 | | 0.2 |
| MA1/3-0.4 | | 0.4 |

* La relación Fe/Cu nominal es aproximadamente de 1/1, siendo el contenido promedio de la aleación de 0.33/0.33. Por lo que la relación 1/2 será de 0.33/0.66 y la relación 1/3 será de 0.33/1.0

Se evaluó la dureza Brinell en condiciones estándar para aleaciones no ferrosas (bola de 10 mm y carga de 1000 Kg), para cada condición establecida en el diseño experimental.

3.2 Equipo y materiales.

Los equipos y materiales utilizados en este proyecto se describen a continuación:

Equipo de moldeo:

Dicho equipo de moldeo se utilizó para fabricar los moldes de arena en verde que se ocuparon en este proyecto para realizar las piezas requeridas:

- ✓ Placa modelo de cenicero sencillo con sistema de colada; diseñado, fabricado y ensamblado en el DIM⁶.

⁶ DIM: Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Química de la UNAM.

- ✓ Caja de moldeo para la placa. La cual fue proporcionada por la compañía Metalúrgica S.A de C.V.

Horno de crisol:

El horno utilizado fue un horno de crisol calentado por gas al cual se le introduce un crisol de SiC A30 con una capacidad para fundir aproximadamente 10 Kg de aluminio.

Las temperaturas de trabajo fueron controladas mediante un indicador digital con termopar tipo K.

Material para pruebas:

- El escorificante y la aleación base (llamada 356.2MA) que se utilizaron para realizar las pruebas en este proyecto fueron proporcionados por METALURGICA ARTESANAL S.A. DE C.V.
- La arena de moldeo utilizada para fabricar las piezas requeridas es arena silica del DIM.

Equipo de dureza Brinell:

El equipo utilizado para realizar el ensayo de dureza es un equipo de dureza Brinell, marca “*Shimadzu*”, que se encuentra en las instalaciones de la Facultad de Química.

3.3 Métodos de evaluación.

Los métodos de evaluación que se describen a continuación, en su gran mayoría fueron aplicados en METALART y solo uno de los métodos se efectuó en la Facultad de Química de la UNAM. Estos métodos de evaluación fueron:

3.3.1 Métodos de evaluación aplicados en la UNAM.

Los métodos de evaluación utilizados en el DIM de la Facultad de Química de la UNAM fueron:

- a) La dureza Brinell descrita anteriormente y que se tomo a las piezas bajo estudio.

Para ello se aplicaron las condiciones estándar para aleaciones no ferrosas (bola de 10 mm y carga de 1000 Kg). Se tomaron de tres a cinco indentaciones y se reporto el valor promedio, que fue calculado mediante la fórmula siguiente:

FORMULA:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Donde,

P , es la carga aplicada en Kg.

D , es el diámetro del indentador utilizado.

d , es el diámetro de la huella.

3.3.2 Métodos de evaluación aplicados en METALART.

Los métodos de evaluación aplicados en las instalaciones de METALART consistieron en:

- a) La determinación de la composición química de las piezas experimentales, con especial énfasis en los contenidos de Cu, Fe, Ni y Si.
- b) La trabajabilidad, es decir la facilidad para realizar el pulido en la etapa final y alcanzar la mayor calidad de brillo de la pieza, esto se realizo en METALART, de acuerdo a los criterios de calidad de la planta definida por el Departamento de pulido y acabado. Este medio sirvió como referencia para verificar si se aumento la dureza, disminuyó la resistencia al pulido y si se aumentó el brillo en las piezas ornamentales fabricadas.

Por lo que los métodos de evaluación practicados a las piezas fabricadas en la UNAM y realizados por METALART fueron los siguientes:

Pre-acabado.

Arreglo de imperfectos en las piezas de fundición:

- ✓ **Corte.** Las piezas se cortan de los corredores de manera que quede la pieza sola.
- ✓ **Lija de banda grano 40 de Al_2O_3 .** Se utiliza para arreglar imperfectos derivados de fundición.
- ✓ **Lija de disco de corte grano 36 de Al_2O_3 .** Para lijado interno y externo. Le quita a la pieza de su acabado rugoso y opaco característico de su proceso de fabricación y perfecciona la geometría de la pieza.
- ✓ **Lijadora de disco de 12 pulgadas grano 40 de Al_2O_3 .** Se utiliza para asentar las piezas.
- ✓ **Tina de vibrado con piedra cerámica y desengrasante de marca OLMECA.** Se utiliza como pulido mecánico.
- ✓ **Reparado de piezas ornamentales con pequeñas partículas de escoria ricas en aluminio.** Esto solo se realiza si la pieza presenta pequeñas cavidades debidas a rechupes o al atrapamiento de arena producto de su proceso de fabricación en la fundición. Dicho reparado consiste en escarbar la cavidad con una punta filosa e incorporando una partícula de escoria en dicho hueco para después ser martillada con un pequeño martillo de punta chata.

Pulido.

Operación mecánica que se realiza en la superficie de las piezas de aluminio para mejorar su aspecto visual, su tacto y su funcionalidad. Los pasos aplicados fueron los siguientes:

- ✓ **Esmeril malla 150 de Al_2O_3 .** Disminuir las rayas gruesas ocasionadas en el pre-acabado.
- ✓ **Esmeril malla 220 de Al_2O_3 .** Tiene el mismo propósito que el esmeril anterior solo que su acabado queda más fino.
- ✓ **Lija grano 100 de Al_2O_3 .** El pulido con esta lija de grano grande quita todas las superficies, filos y rugosidades no deseadas en la pieza.

- ✓ **Lija grano 240 de Al_2O_3 .** Esta lija busca el mismo propósito que la lija de grano 100 solo que su acabado es más fino.
- ✓ **Lija grano 400 de Al_2O_3 .** El pulido con esta lija busca el mismo propósito que las lijas de grano 100 y 240 solo que su acabado es aún más fino.

Brillo.

El proceso de abrillantado, utilizado por METALART, busca obtener el máximo lustre en las piezas se realiza mediante el uso de pastas lubricantes y el equipo necesario para tal operación, como a continuación se explica:

- ✓ **Sisal (tela de mezclilla + zacate).** El sisal puede ser de diferentes tamaños, el tamaño a utilizar dependerá de la geometría de la pieza. Este proceso refina el pulido eliminando por completo la textura opaca de la pieza y comienza a dar brillo.
- ✓ **Rueda de Manta (tela de algodón).** Igual que el sisal, la rueda de manta puede ser de diferentes tamaños, este es último proceso se realiza para obtener el máximo brillo posible a las piezas.

3.4 Desarrollo Experimental.

Se utilizó como base la aleación comercial 356.2MA, su composición química se muestra en la Tabla 2. Para ajustar el Cu y Ni en la composición química requerida, el Cu se adiciono puro y el Ni en una aleación maestra de Al-Ni. El Cu requerido se estimo en base a la composición química del Fe, ya que si por ejemplo la aleación contenía 0.4% de Fe por consiguiente se iba a utilizar 0.4, 0.8 y 1.2% de Cu para las diferentes pruebas requeridas. Se realizo moldeado en arena en verde. La pieza seleccionada fue un plato que incluye dos piezas por placa modelo, como se muestra en la Figura 2, a la cual se le rediseño e integro el sistema de colada de acuerdo a las características de la placa modelo.

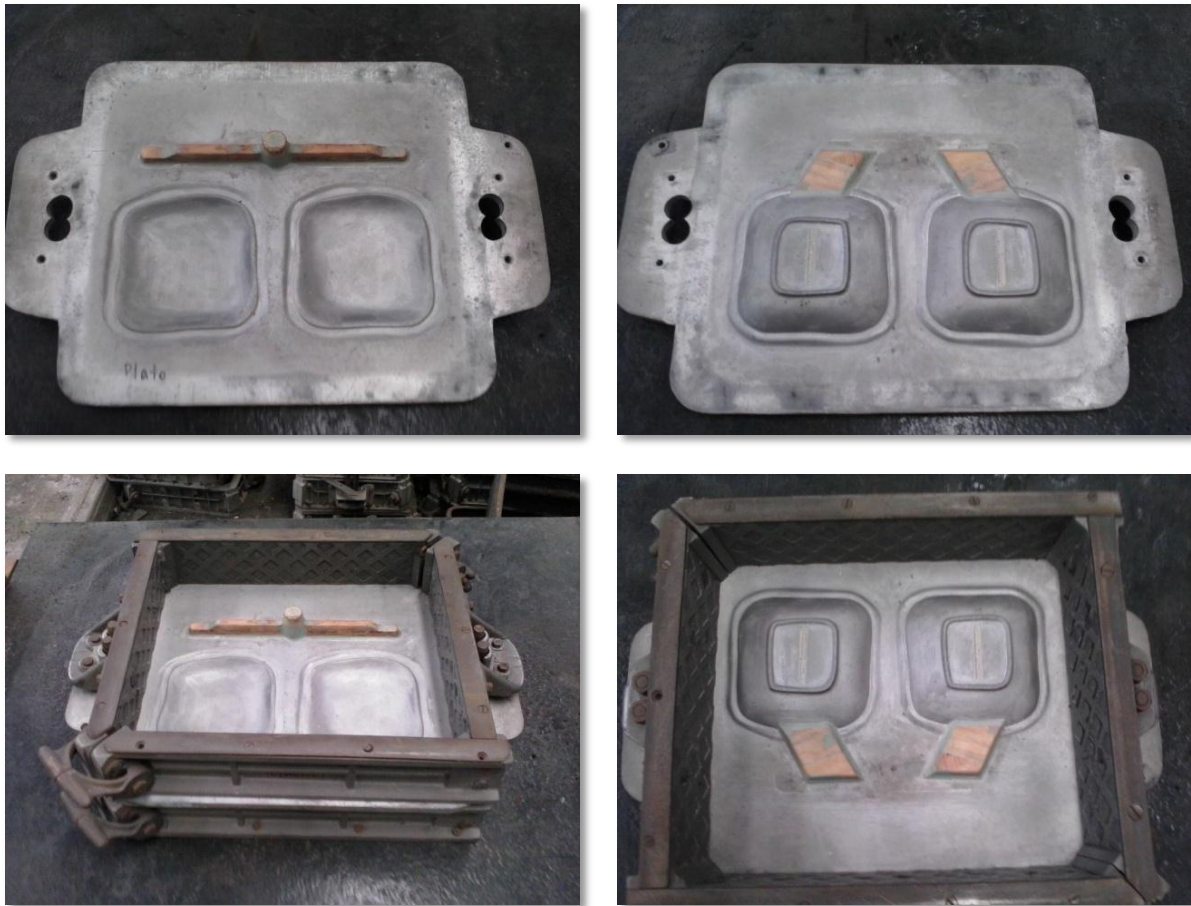


Figura 2. Características de la placa modelo.

En el laboratorio de fundición de la Facultad de Química de la UNAM se fabricaron una serie de piezas ornamentales con diferentes contenidos de Ni y variando una relación de Fe/Cu. Se fabricaron piezas con relación de Fe/Cu 1:1, 1:2, y 1:3. Posteriormente se fabricaron las piezas, con las mismas relaciones de Fe/Cu, pero ahora con un contenido del 0.2 y 0.4% de Ni.

Los métodos de evaluación de resistencia al pulido y de abrillantado de las piezas fabricadas en la Facultad de Química fueron efectuados en las instalaciones de METALURGICA ARTESANAL S.A. DE C.V. como se describió anteriormente.

Para la realización de las pruebas en el Laboratorio de Fundición de la Facultad de Química se consideran las siguientes etapas: (1) Preparación del herramental; (2) Fabricación de una liga metálica Al-Ni; (3) Fabricación de piezas con relaciones de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3; (4) Fabricación de piezas con 0.2% de Ni y con relaciones de

Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3; (5) Fabricación de piezas con 0.4% de Ni y con relaciones de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3 y; (6) Ensayo de Dureza Brinell.

La preparación del herramental consistió en los siguientes pasos: pintar el herramental con pintura refractaria (ZrO_2), limpiar y pintar el crisol con pintura refractaria y, preparar la lanza para el desgacificado, pintarla con pintura refractaria y perforarla a manera de rejilla para que salga el gas.

Por último, al igual que en la Facultad de Química, la parte experimental se complemento mediante la realización de una serie de pruebas en METALART, dichas pruebas se efectuaron en base a los resultados obtenidos de las piezas fabricadas en la UNAM que tuvieron la mejor calidad, para comprobar si se obtienen los mismos resultados a nivel planta.

3.4.1 Fabricación de la liga Metálica Al - 4%Ni.

La fabricación de la liga metálica Al- 4%Ni se efectuó para poder incorporar el Ni en la aleación 356.2MA ya que de otra forma muy difícilmente este elemento podría incorporarse a la aleación y este se sedimentaria en el fondo del crisol. A continuación se puntualiza la fabricación de la liga metálica:

- ✓ Efectuar los balances de carga pertinentes para fabricar 2.46 Kg de liga metálica Al - Ni con 4% de Ni.
- ✓ Pesar la carga; 2374 g de Aluminio y 86g de Ni.
- ✓ De la cantidad de Ni necesaria, elaborar viruta para su fácil disolución.
- ✓ Precalentar la viruta de níquel junto con el lingote de aluminio puro.
- ✓ Realizar fusión del Metal base.
- ✓ Ya liquido el aluminio ($\approx 750^\circ C$) agregar, con una campana, el Ni envuelto en papel Aluminio para aumentar su eficiencia.
- ✓ Precalentar el escorificante⁷, aproximadamente a una temperatura de 100 - 200°C.

⁷ Escorificante comercial ocupado en el Laboratorio de Fundición de la Facultad de Química.

- ✓ Agitar con movimientos ascendentes por periodos de 2 minutos cada 5 minutos. Dicha agitación se llevara a cabo durante 10 minutos.
- ✓ Escorificar.
- ✓ Medir temperatura y colar a 760 - 770°C en lingotera metálica

3.4.2 Fabricación de piezas con relaciones de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.

Para fabricar las tres piezas con relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3, se tuvo que modificar la composición química de la aleación 356.2MA a manera que en la composición química final el contenido de Cu fuera variando según requiriera la relación Fe/Cu. Esto con ayuda de la adición de Cu tal y como enuncian los siguientes pasos:

- ✓ Pesar la carga, la cual se trata de bajadas, alimentadores, corredores y retornos de METALART.
- ✓ Realizar fusión de Homogenización de la carga.
- ✓ Medir temperatura y colar a una temperatura de 760 - 770°C.
- ✓ Mediante la espectrometría de emisión atómica determinar la composición química.
- ✓ Efectuar los balances de carga pertinentes para fabricar al menos una pieza con relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.
- ✓ Elaboración de moldes de arena en verde con 3 - 3.5% de humedad.
- ✓ Realizar fusión del metal base.
- ✓ Precalentar el escorificante, aproximadamente a una temperatura de 100 - 200°C
- ✓ Preparación de la carga de Cu. Limpiarla y quemarla para eliminar posibles grasas.
- ✓ Con una campana agregar el contenido de Cu, previamente envuelto en papel aluminio para incrementar eficiencia.
- ✓ Agitar con movimientos durante 10 minutos como en la fabricación de la liga metálica de Al – Ni.
- ✓ Escorificar
- ✓ Desgasificar con gas Argón durante 8 minutos agitando con movimientos ascendentes.

- ✓ Medir temperatura y colar a 760 - 770°C.

3.4.3 Fabricación de piezas con 0.2% Ni y con relaciones de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.

En la fabricación de piezas ornamentales con relaciones de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3 con contenidos de Ni del 0.2%, se utilizó la misma técnica de fusión mencionada en el punto anterior. Pero ahora se agregó una liga metálica, que previamente se, dicha adición se realizó envolviendo los pedazos de liga en papel aluminio para aumentar así la eficiencia de la liga metálica. La mencionada adición se agregó de la siguiente manera:

- ✓ Con ayuda de una campana agregar la liga de Ni con movimientos giratorios en el fondo del crisol.
- ✓ Agitar con movimientos ascendentes por periodos de 2 minutos cada 5. Dicha agitación se llevara a cabo durante 10 minutos.
- ✓ Escorificar
- ✓ Desgasificar con gas Argón durante 8 minutos agitando con movimientos ascendentes.
- ✓ Medir temperatura y colar a 760 - 770°C.

3.4.4 Fabricación de piezas con 0.4% Ni y con relaciones de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.

Para la fabricación de piezas con relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3 con 0.4% de Ni, se utilizó la misma técnica de fusión que en las piezas con 0.2% de Ni, pero ahora modificando el balance de carga para que la aleación contuviera el contenido de Ni requerido.

3.4.5 Pruebas realizadas en METALART.

Las pruebas efectuadas en la empresa artesanal METALART consistieron en tres fusiones de prueba, el metal de la primera fusión tenía una relación de Fe/Cu 1:2, el metal de la segunda fusión tenía la misma relación de Fe/Cu que la primera pero se adiciono con Ni de manera que llegara al 0.2% en la aleación. Y por último, el metal de la tercer fusión contenía la misma relación de Fe/Cu de la primera y la segunda fusión pero con un contenido de 0.26% de Ni.

Cada una de las tres fusiones se realizó con más de 200 Kg de aleación 356.2MA modificada para que contuviera la composición de Ni y de la relación de Fe/Cu deseada. En seguida se enlistan las consideraciones necesarias para llevar a cabo dichas fusiones dentro de las instalaciones de METALART:

- ✓ Realización de moldes de arena en verde con humedad de 3 a 3.5%. Cabe destacar que este valor de humedad es estimado ya que se prepara la arena con humedad del 4 al 5% pero está disminuye debido a su transportación.
- ✓ Determinación de la composición química mediante equipo de Espectrometría de Emisión marca *SPECTRO* modelo *SPECTROMAXx*, *adquirido en 2005*.
- ✓ Efectuar los balances de carga pertinentes para fabricar un lote de piezas con la relación de Fe/Cu requerida y con el contenido de Ni necesario (solo si el contenido de Ni es modificado en la aleación).
- ✓ Agitar el metal líquido con movimientos ascendentes por periodos de 2 minutos cada 5. Dicha agitación se llevara a cabo durante 10 minutos.
- ✓ Escorificar y desgasificar con gas Argón de alta pureza durante 8 minutos agitando con movimientos ascendentes.
- ✓ Medir temperatura y colar a 730 - 740°C*.

Nota:

- Cuando el horno marca una temperatura del metal de aproximadamente 730 °C se vierte el metal dentro de los moldes a una temperatura entre 700 y 720 °C.

CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los resultados obtenidos en este proyecto constan de una serie de pruebas realizadas en el Laboratorio de Fundición de la Facultad de Química y en METALURGICA ARTESANAL S.A. DE C.V. Con dichas pruebas se busca mejorar la aleación 356.2MA que utiliza METALART para fabricar sus piezas artesanales, esto mediante la aplicación de diferentes relaciones de Fe/Cu y manejando bajas concentraciones de Ni. Esta experimentación permitió encontrar los contenidos óptimos de relación Fe/Cu y de Ni, por lo que a continuación se describen toda la experimentación realizada junto con los resultados obtenidos.

4.1 Pruebas realizadas en la UNAM.

Las pruebas realizadas en el laboratorio se dividieron en dos partes. En la primera se fabricaron las piezas (platos botaneros) con relación de Fe/Cu 1:1, 1:2, y 1:3. En la segunda parte se fabricaron las piezas con las mismas relaciones de Fe/Cu pero ahora con contenidos de 0.2 y 0.4% de Ni.

4.1.1 Primera parte de las pruebas realizadas en el Laboratorio de la Facultad de Química de la UNAM.

Durante la primera parte de las pruebas se realizó una fusión de homogenización. La composición química, de dicha carga, fue determinada por espectrometría de emisión atómica, y se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición química de la aleación 356.2MA.

| | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Ti |
|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| - X | % | % | % | % | % | % | % | % |
| | 5.79 | 0.3476 | 0.3655 | 0.0337 | 0.0489 | 0.0186 | 0.0064 | 0.1454 |
| - X | Sr | Al | | | | | | |
| | % | % | | | | | | |
| | 0.0002 | Balance | | | | | | |

En dicha composición química se estableció al contenido de Fe (0.3476% de Fe) y al contenido Cu (0.3655% de Cu) como una relación de aproximadamente 1:1.

Se realizó una fusión preliminar con relación de Fe/Cu 1:1 a una temperatura de colada de 790 – 800°C. Para estimar el peso total de la pieza con el sistema de colada (Figura 3), pesando 1.110 Kg.



Figura 3. Pieza (plato botanero) preliminar colada a 790 - 800°C.

Para fabricar todas las piezas fue necesario moldear las piezas en un molde de arena en verde. Dicho moldeo parte de la mezcla de:

Arena sílice + 10% de Bentonita (60% sódica y 40% cálcica) + Agua (3% de humedad).

En este caso se utilizaron 50 Kg de arena y 3.5% de humedad, es decir, 40.25 Kg de arena y 1.75 litros de agua.



Figura 4. Molde de arena en verde.

Utilizando 1.5 Kg de aleación se realizaron los balances de carga pertinentes para fabricar por lo menos una pieza de la aleación 356.2MA con una relación de Fe/Cu 1:1, otra pieza con una relación Fe/Cu 1:2 y otra pieza con una relación Fe/Cu 1:3.

Estas piezas se colaron a una temperatura de 710 – 720°C. Se escorificó con un producto comercial⁸ utilizado por METALART, el cual, fue calentado previamente antes de su incorporación para eliminar humedad, para las piezas a las que se les iba a aumentar el contenido de Cu se utilizó rebaba de Cu previamente quemada para así eliminar principalmente grasa y después ser agregada al metal líquido envuelta en papel aluminio. Esto último para evitar pérdidas por oxidación. Por último, se desgasificó durante 5 minutos con gas argón. Estas piezas no se llenaron debido a la deficiente fluidez de la aleación como se muestra en la Figura 5.

⁸ La fórmula del escorificante comercial no fue proporcionada por el proveedor.



Relación Fe/Cu 1:1



Relación Fe/Cu 1:2



Relación Fe/Cu 1:3

Figura 5. Piezas (platos botaneros) con relaciones Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3 coladas 790 - 800°C.

Este rango de temperatura de colada 710 – 720°C fue debido a que en METALART cuelean a esas temperaturas y se trató de trabajar en el laboratorio en las condiciones en que se trabaja en planta.

Por último, se volvieron a fabricar las piezas con relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3, pero ahora, con una temperatura de colada de 760 - 770°C. De igual manera, se escorificaron con un producto comercial utilizado por METALART y se desgasificó durante 7 minutos. Dichas piezas volvieron a salir con defectos, pero ahora, uno de los dos platos salió incompleto como se muestra en la Figura 6.

Relación Fe/Cu 1:1



Relación Fe/Cu 1:2



Relación Fe/Cu 1:3

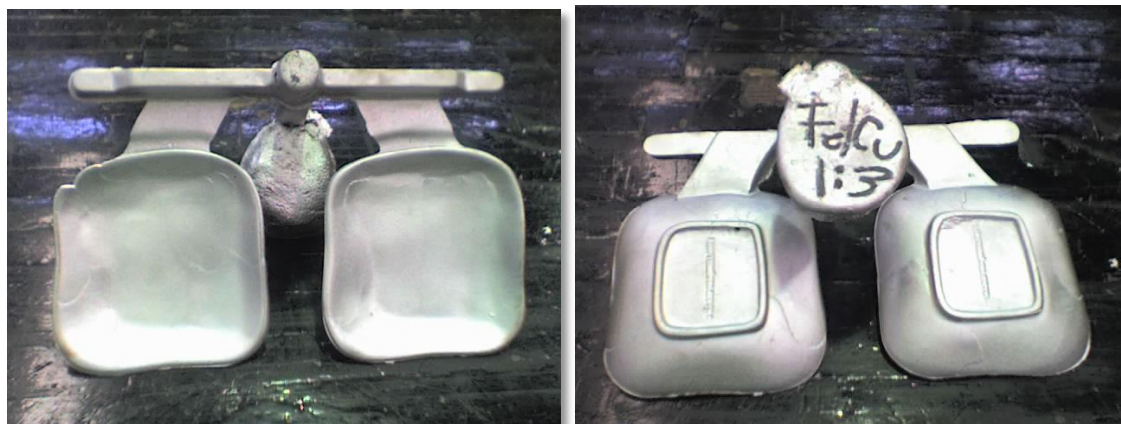


Figura 6. Piezas (platos botaneros) con relaciones Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3 coladas 760 - 770°C.

En dicha Figura se observa un mejor llenado de las piezas, pero igual que en las primeras pruebas no se llenaron completamente los platos debido a la baja fluidez de la aleación. Sin embargo se obtuvieron las composiciones químicas requeridas para estas piezas es decir con relaciones Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3, como se observa en la Tabla 3. Lo

anterior hace suponer que el contenido de Cu mejoró, en cierta medida, a la fluidez de la aleación, ya que la pieza con el mayor contenido de cobre fue la que mejor se llenó (1:3) y la que menos se llenó fue la pieza con bajos contenidos de cobre (1:1).

Tabla 3. Contenidos de Fe y Cu experimentales en las tres piezas (relación Fe/Cu)

| X | Fe/Cu 1:1 | | Fe/Cu 1:2 | | Fe/Cu 1:3 | |
|---|-----------|--------|-----------|-------|-----------|-------|
| | Fe | Cu | Fe | Cu | Fe | Cu |
| | % | % | % | % | % | % |
| | 0.3476 | 0.3655 | 0.2760 | 0.692 | 0.2848 | 1.064 |

A estas últimas piezas se les midió la dureza Brinell. Dichas durezas se muestran en la Tabla 4:

Tabla 4. Dureza Brinell de las piezas (platos botaneros) con relaciones Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.

| Relación Fe/Cu 1:1 | | | |
|--------------------|---------|---------------|-------------------|
| δ1 (mm) | δ2 (mm) | Promedio (mm) | DUREZA |
| 4.8 | 4.85 | 4.825 | 51.2971483 |
| 4.7 | 4.85 | 4.775 | 52.4534446 |
| 4.75 | 4.7 | 4.725 | 53.6464042 |
| | | | 52.4656657 |

| Relación Fe/Cu 1:2 | | | |
|--------------------|--------|---------------|-------------------|
| δ1(mm) | δ2(mm) | Promedio (mm) | DUREZA |
| 4.7 | 4.55 | 4.625 | 56.1487254 |
| 4.6 | 4.6 | 4.6 | 56.7997968 |
| 4.65 | 4.45 | 4.55 | 58.1341101 |
| | | | 57.0275441 |

| Relación Fe/Cu 1:3 | | | |
|--------------------|--------|---------------|-------------------|
| δ1(mm) | δ2(mm) | Promedio (mm) | DUREZA |
| 4.7 | 4.7 | 4.7 | 54.2571237 |
| 4.65 | 4.6 | 4.625 | 56.1487254 |
| 4.6 | 4.6 | 4.6 | 56.7997968 |
| | | | 55.7352153 |

Donde δ_1 es el diámetro de la huella analizada y δ_2 el diámetro de la misma huella vista perpendicularmente.

Nota:

- El diámetro del indentador requerido para realizar un ensayo de dureza Brinell depende, entre otras cosas, del espesor de la pieza a la cual se le practicara dicho ensayo. En la Facultad de Química se utilizo un indentador convencional de 10 mm debido a que solo se contaba con este para realizar dicho análisis. Esto aplica para cada uno de los datos de dureza Brinell que se obtuvieron en este trabajo.

La Figura 7, muestra la variación de dureza Brinell en función de la relación Fe/Cu.

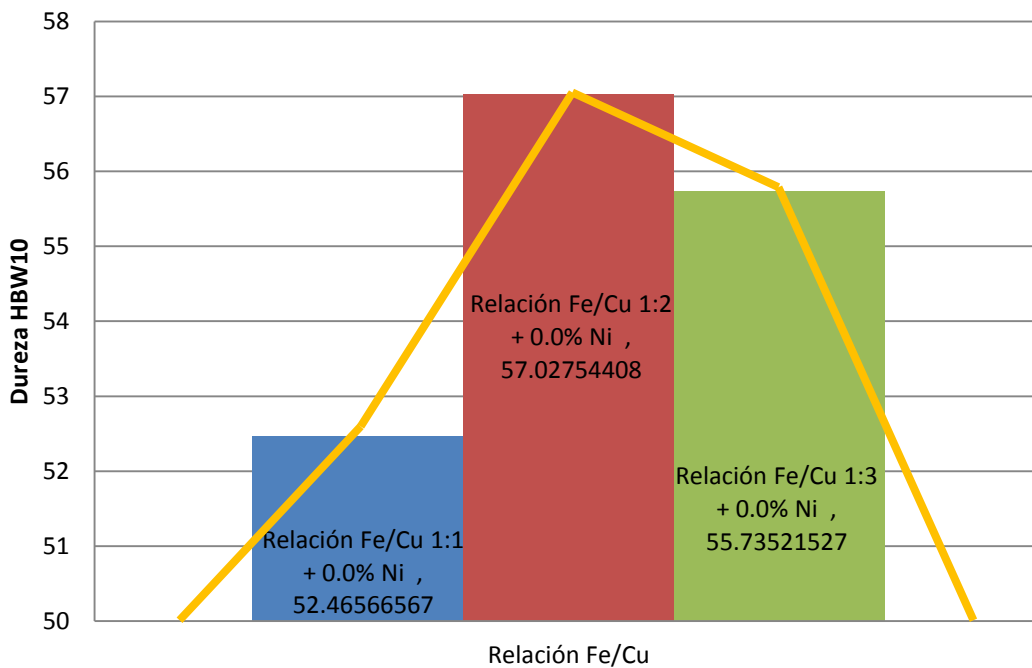


Figura 7. Variación de dureza Brinell para las piezas (platos botaneros) con relación Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.

La relación Fe/Cu 1:2 fue la que presentó una mayor dureza y, como nos muestra la Figura 7, la curva parece indicar que la mayor dureza se encuentra en las relaciones Fe/Cu 1:2 y 1:3.

4.1.2 Segunda parte de las pruebas realizadas en el Laboratorio de Fundición de la Facultad de Química de la UNAM.

La composición química de los 60 Kg de aleación utilizada en la segunda parte experimental, fue determinada por espectrometría de emisión atómica, se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Composición Química de la aleación 356.2MA, segunda parte de las pruebas en la UNAM.

| | | | | | | | | |
|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| — X | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Ti |
| | % | % | % | % | % | % | % | % |
| | 5.78 | 0.2978 | 0.4297 | 0.0439 | 0.0871 | 0.0272 | 0.0133 | 0.1438 |
| — X | Sr | Al | | | | | | |
| | % | % | | | | | | |
| | 0.0002 | Balance | | | | | | |

Conociendo los porcentajes de Fe, Cu y Ni en la aleación se realizaron los balances de carga pertinentes para fabricar una serie de pieza artesanales con las mismas relaciones de Fe/Cu manejadas en la primera parte de las pruebas realizadas en el laboratorio, pero ahora adicionadas con bajos contenidos de Ni.

Piezas con 0.2% de Ni y relaciones de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.

Igual que en la primera parte de las pruebas en el Laboratorio, según la composición química obtenida al homogenizar los 60 Kg de aleación 356.2MA se estableció al contenido de Fe (0.2978% de Fe) y al contenido Cu (0.4297% de Cu) como una relación 1:1.43⁹.

⁹ Se supondría que la relación de Fe/Cu tendría que ser 1:1, pero se utilizó el valor de 1:1.43 ya que como en todo proceso de fundición muchas veces no se pueden obtener composiciones químicas exactas y se tienen que estimar intervalos, por lo que aquí el intervalo era obtener 1 ó 1.5 de Cu y de Fe.

Se realizaron los balances de carga para que la aleación 356.2MA para alcanzar 0.2% de Ni en cada una de las relaciones de Fe/Cu manejadas. Se fabricó al menos una pieza con relación Fe/Cu 1:1 con 0.2% de Ni, otra con relación Fe/Cu 1:2 con 0.2% de Ni y, por último, una pieza con relación de Fe/Cu 1:3 con 0.2 de Ni.

También se fabricaron piezas con 0.4% de Ni y con relaciones Fe/Cu 1:1 con 0.4% de Ni, Fe/Cu 1:2 con 0.4% de Ni y Fe/Cu 1:3 con 0.4 de Ni.

Las piezas con 0.2% de Ni, se fabricaron a una temperatura de colada de 760 - 770°C, se escorificaron con un producto comercial utilizado por METALART y se desgasificaron ahora durante 8 minutos¹⁰. Dichas piezas se muestran en la Figura 8.

¹⁰ Este tiempo, según la experimentación del M. en I. Agustín G. Ruíz Tamayo, es el tiempo óptimo para eliminar sopladuras y cualquier gas atrapado en las aleaciones de Aluminio en estado líquido.

Piezas con relación Fe/Cu 1:1 + 0.2% de Ni



Piezas con relación Fe/Cu 1:2 + 0.2% de Ni



Piezas con relación Fe/Cu 1:3 + 0.2% de Ni



Figura 8. Piezas (platos botaneros) con 0.2% de Ni con relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3 coladas a 760 - 770°C.

En dicha Figura 8 se observa un mejor acabado de las piezas y un aumento en el brillo de las mismas. Se observa que solo una de piezas no se lleno completamente.

Además, se observa que el brillo más alto lo tuvieron las piezas con relación de Fe/Cu 1:2 con 0.2% de Ni. Siendo la pieza con relación de Fe/Cu 1:1 con el brillo más opaco y menos agradable debido una tonalidad blanquizca.

A estas piezas se les evaluó la dureza Brinell, dichas durezas se muestran a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6. Dureza Brinell de las piezas (platos botaneros) con 0.2% de Ni y relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.

| Relación Fe/Cu 1:1 + 0.2% Ni | | | |
|-------------------------------------|----------------|----------------------|-------------------|
| δ1 (mm) | δ2 (mm) | Promedio (mm) | DUREZA |
| 4.75 | 4.65 | 4.7 | 54.2571237 |
| 4.6 | 4.75 | 4.675 | 54.8776086 |
| 4.65 | 4.65 | 4.65 | 55.5080703 |
| | | | 54.8809342 |

| Relación Fe/Cu 1:2 + 0.2% Ni | | | |
|-------------------------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| δ1(mm) | δ2(mm) | Promedio (mm) | DUREZA |
| 4.55 | 4.4 | 4.475 | 60.2196329 |
| 4.5 | 4.4 | 4.45 | 60.938236 |
| 4.5 | 4.35 | 4.425 | 61.6689973 |
| | | | 60.9422887 |

| Relación Fe/Cu 1:3 + 0.2% Ni | | | |
|-------------------------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| δ1(mm) | δ2(mm) | Promedio (mm) | DUREZA |
| 4.45 | 4.5 | 4.475 | 60.2196329 |
| 4.35 | 4.55 | 4.45 | 60.938236 |
| 4.455 | 4.435 | 4.445 | 61.0834068 |
| | | | 60.7470919 |

Se observa en la tabla 6 que la dureza más elevada correspondiente a la pieza con 0.2 % Ni y relación Fe/Cu de 1:2 corresponde a la pieza con mejor respuesta al acabado y brillantes. Esto indica que la trabajabilidad de la pieza y la dureza de la misma están ligadas a la composición de la aleación, en este caso con 0.2 % Ni y relación Fe/Cu de 1:2. La pieza con el mismo nivel de níquel y la relación Fe/Cu de 1:3 tienen un comportamiento similar en la trabajabilidad.

Por su parte, La Figura 9, muestra gráficamente la variación de dureza en función de la relación Fe/Cu y el contenido de Ni.

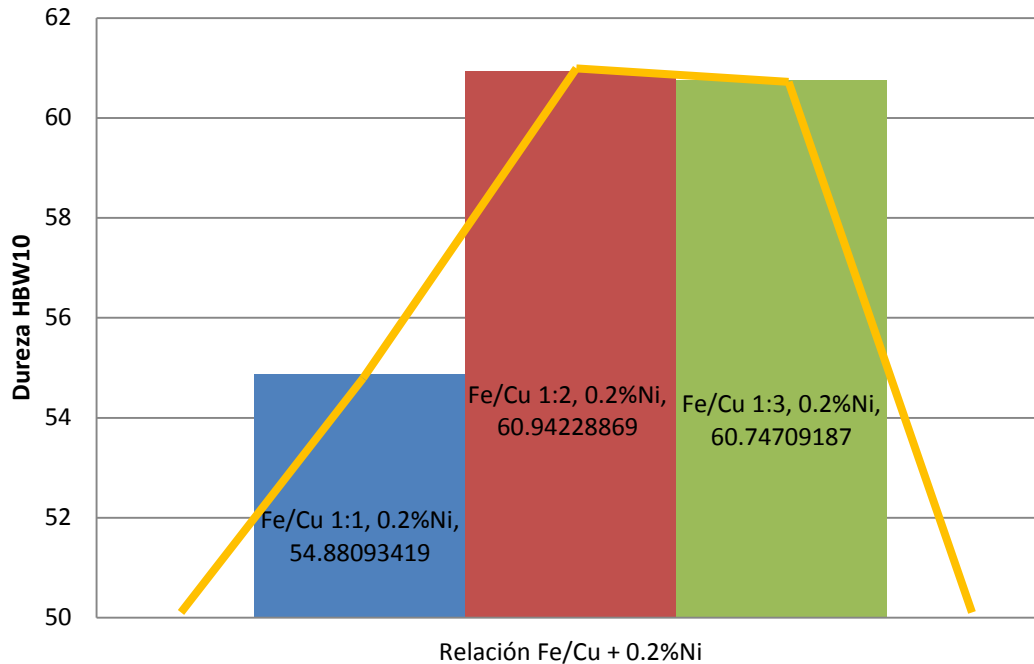


Figura 9. Variación de dureza Brinell para las piezas (platos botaneros) con 0.2% de Ni y relación Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.

Piezas con 0.4% de Ni y relaciones de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.

Las piezas que se fabricaron con 0.4% de Ni, fueron coladas a una temperatura de 760 - 770°C. Para fabricar estas piezas se manejaron los mismos balances de carga mencionados anteriormente, pero ahora incrementando el contenido de Ni hasta 0.4 % y con las mismas condiciones de temperatura de colada, escorificante y desgasificación. Dichas piezas se muestran en la Figura 10:

Piezas con relación Fe/Cu 1:1 + 0.4% de Ni



Piezas con relación Fe/Cu 1:2 + 0.4% de Ni



Piezas con relación Fe/Cu 1:3 + 0.4% de Ni



Figura 10. Piezas (platos botaneros) con 0.4% de Ni con relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3 coladas a 760 - 770°C.

Igual que en todas las piezas fabricadas antes se observan piezas que no se llenaron e igualmente se infiere que este fenómeno es ocasionado por la velocidad de colada y muy probablemente a que la masa que se fundía era muy pequeña ($\approx 1.5\text{Kg}$) y que al

colar esta se enfriaba muy rápidamente. De igual manera se observa que las piezas con relación de Fe/Cu 1:2 presentan el máximo brillo, que las piezas con el brillo menos son las piezas con relación 1:1 y las piezas con relación de Fe/Cu 1:3 tienen un brillo muy cercano al de las piezas con el máximo brillo aunque más opaco.

La dureza Brinell de estas piezas se muestra en la Tabla 7. La Figura 10, por su parte, muestra la variación de dureza en función de la relación Fe/Cu.

Tabla 7. Dureza Brinell de las piezas (platos botaneros) con 0.4% de Ni y relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.

| Relación Fe/Cu 1:1 + 0.4% Ni | | | |
|-------------------------------------|----------------|----------------------|-------------------|
| δ1 (mm) | δ2 (mm) | Promedio (mm) | DUREZA |
| 1 | 4.7 | 4.65 | 55.5080703 |
| 4.7 | 4.7 | 4.7 | 54.2571237 |
| 4.6 | 4.65 | 4.625 | 56.1487254 |
| | | | 55.3046398 |

| Relación Fe/Cu 1:2 + 0.4% Ni | | | |
|-------------------------------------|----------------|----------------------|-------------------|
| δ1 (mm) | δ2 (mm) | Promedio (mm) | DUREZA |
| 4.55 | 4.6 | 4.575 | 57.4615133 |
| 4.55 | 4.75 | 4.65 | 55.5080703 |
| 4.6 | 4.5 | 4.55 | 58.1341101 |
| | | | 57.0345645 |

| Relación Fe/Cu 1:3 + 0.4% Ni | | | |
|-------------------------------------|---------------|----------------------|-------------------|
| δ1(mm) | δ2(mm) | Promedio (mm) | DUREZA |
| 4.6 | 4.7 | 4.65 | 55.5080703 |
| 4.5 | 4.55 | 4.525 | 58.8178289 |
| 4.5 | 4.4 | 4.45 | 60.938236 |
| | | | 58.4213784 |

De igual manera, la pieza con relación de Fe/Cu 1:1 fue la más blanda. Solo que en esta ocasión la máxima dureza la tuvieron las piezas con relación de Fe/Cu 1:3, aunque las piezas con relación 1:2 tuvieron una dureza muy parecida, como muestra de una más clara la Figura 11. Por lo que se vuelve a comprobar lo mencionado para las piezas con 0.2% Ni; el contenido de Ni no afecta significativamente la dureza de las piezas y

solo modifica el brillo de las mismas. Lo que sugiere que el brillo de las piezas aumento debido al aumento al contenido de Ni, siendo el 0.2% el contenido que proporciona a las piezas el brillo más agradable y elegante que hace a las mismas únicas y muy parecidas a la plata.

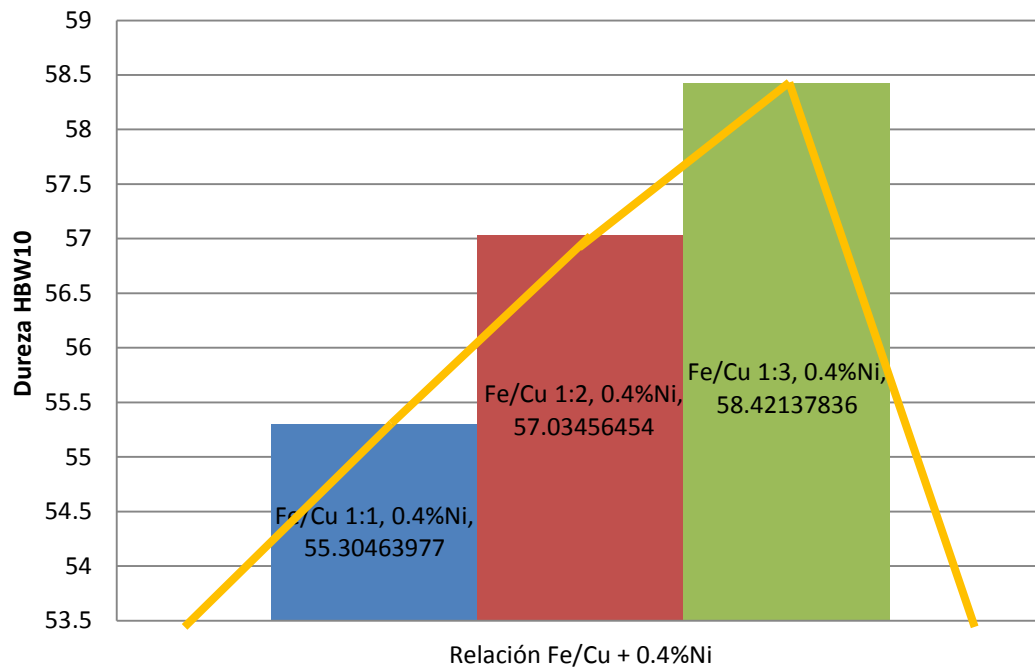


Figura 11. Variación de dureza Brinell para las piezas (platos botaneros) con 0.4% de Ni y relación Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.

En la Figura 12 se muestra un gráfico comparativo que muestra la dureza de todas las piezas fabricadas con las diferentes condiciones de composición química.

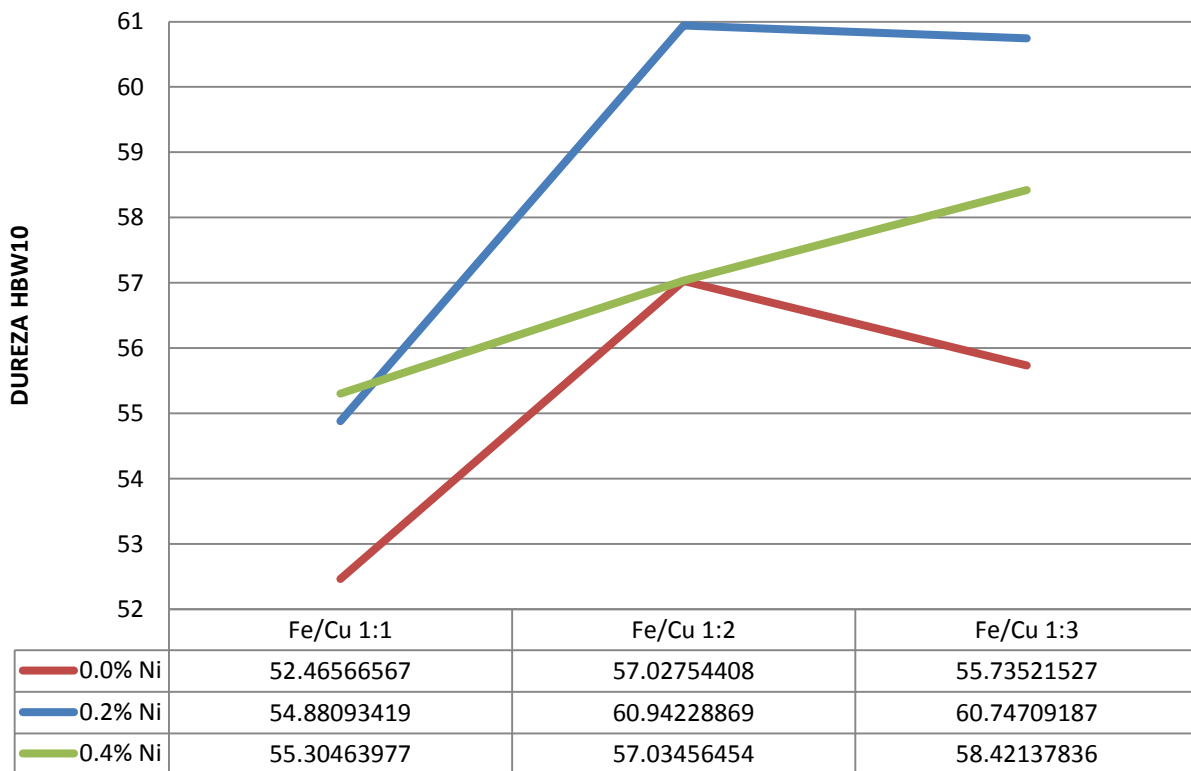


Figura 12. Gráfico comparativo de durezas Brinell para las piezas (platos botaneros) con los diferentes contenidos de Ni y con relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.

En el gráfico anterior se observó que para las piezas sin Ni el incremento en la relación Fe/Cu tienen el efecto de incrementar la dureza alcanzando un máximo de 57 HBN para la relación Fe/Cu de 1:2, sin embargo el efecto sobre la calidad del abrillantado no es muy significativo.

La adición de níquel ya sea en 0.2 y 0.4% incremento la dureza en relación a las piezas que no contienen níquel. El incremento más significativo en dureza la tiene la aleación con 0.2 %Ni y relaciones Fe/Cu de 1:2 y 1:3 y son las piezas que dan la mejor respuesta a la trabajabilidad, es decir la facilidad de acabado y el mejor brillo.

Hay que agregar que muy cualitativamente se determinó cuales fueron las piezas con mayor brillo, esto debido a que calidad en el brillo no se puede determinar hasta que estén pulidas todas las piezas, dicho pulido se llevo a cabo en METALART y más adelante se menciona con detalle este proceso. Por lo que lo único que se evaluó, con respecto al brillo, en el Laboratorio de Fundición de la Facultad de Química fue la

consistencia, el color y el poco o mucho brillo que reflejaban las piezas recién fabricadas en condiciones de colada. Con lo que se determinó que la pieza con el máximo brillo fue la que contenía el 0.2% de Ni y una relación de Fe/Cu, misma pieza que fue la que mayor dureza presentó.

4.2 Evaluación de las piezas fabricadas en la UNAM mediante el proceso utilizado en METALART.

Las piezas artesanales fabricadas en la UNAM fueron pulidas y abrillantadas en las instalaciones de METALURGICA ARTESANAL S.A. de C.V. Dicho proceso de pulido y abrillantado consta de una serie de pasos que parten de un pre-acabado hasta llegar a la etapa de abrillantado, el cual se describe a continuación:

Pre – acabado.

El pre-acabado de las piezas es un proceso que se realiza después de su fabricación, siendo en esta etapa donde se cortan corredores, alimentadores y coladas, en donde también se arreglan imperfectos en las piezas derivados de la fundición y en donde se asientan las piezas para después pasar por un pulido mecánico y así eliminar de las piezas toda superficie y apariencia no deseada. A continuación se muestran las etapas de este proceso:

- ***Corte de piezas.*** Con ayuda de una máquina de sierra cinta, la pieza se corta de sus corredores, alimentadores y de su bajada (Figura 13), a manera que este material restante sea separado para ser reutilizado como retorno y sea fundido nuevamente para fabricar nuevas piezas.



Figura 13. Corte de corretores, alimentadores y bajadas de las piezas de aluminio fabricadas.

- **Lija de banda grano 40 de Al_2O_3 .** Como muestra la Figura 14, esta lija se utiliza para quitar imperfechos derivados de la operación de corte y de fundición, tales como pedazos de corretores.



Figura 14. Arreglo de las imperfechos derivadas de fundición.

- **Lija de disco de corte grano 36 de Al_2O_3 .** Para lijado interno y externo. Le quita a la pieza de su acabado rugoso y opaco característico de su proceso de fabricación y perfecciona la geometría de la pieza como muestran las Figuras 15 y 16 hasta tener la pieza por ambos lados libre de imperfectos y de rugosidades como muestra la Figura 17.



Figura 15. Lijado externo de la pieza.



Figura 16. Lijado externo de la pieza.



Figura 17. Vista interna y externa de la pieza después del lijado.

- **Lijadora de disco de 12 pulgadas grano 40 de Al_2O_3 .** La Figura 18 muestra como la lijadora de disco se utiliza para asentar las piezas. Es decir, en el caso de los platos se asientan de su base para que estos no se muevan y queden rígidos sobre una base plana.



Figura 18. Asentamiento de la pieza.

- **Tina de vibrado con piedra cerámica y desengrasante de marca OLMECA.** Este proceso dura aproximadamente 30 minutos y se utiliza como pulido mecánico, como muestra la Figura 19.



Figura 19. Pulido mecánico en tina de vibrado.

- **Reparado de piezas ornamentales con pequeñas partículas de escoria ricas en aluminio.** Esto se realiza sí la pieza presenta cavidades debidas a rechupes o al atrapamiento de arena. Dicho proceso se realiza con ayuda del herramental mostrado en la Figura 20 escarbando la cavidad con una punta filosa o una segueta e incorporando una partícula de escoria en dicho hueco (Figura 21) para después ser martillada con un pequeño martillo de punta chata, como muestra la Figura 22.



Figura 20. Herramental utilizado para reparar poros en piezas artesanales.



Figura 21. Partículas de escoria ricas en aluminio.



Figura 22. Sellado de cavidades con piedras de escoria.

Al final del proceso de pre-acabado, la pieza queda limpia; libre de grasa, bien asentada, sin filos, con su geometría acentuada, sin su consistencia rugosa y libre de defectos característicos del proceso de fundición utilizado como muestran las Figuras 23 y 24.



Figura 23. Parte externa de la pieza artesanal después del pre-acabado.



Figura 24. Parte interna de la pieza artesanal después del pre-acabado.

Nota:

Para obtener acabados finos, en cada de una de las cuatro primeras etapas del pre-acabado, es necesario untarle a la cortadora y a las lijas una pasta amarilla¹¹ llamada Esterina.

Pulido.

Todos los esmeriles y lijas utilizadas durante el pulido lo que hacen es alisar o dar tersura a las piezas salidas del área de pre – acabado, de tal manera que las piezas quedan ya sin la rugosidad característica del moldeo en arena en verde y libres de rayas profundas y listas para darles brillo. En seguida se muestran puntualmente las etapas del proceso de pulido:

¹¹La Esterina es un gliceril éster de ácido esteárico, derivado de la grasa animal creada como producto derivado del procesamiento de la carne. Es posible encontrar a la esterina en ciertas plantas tropicales como la palma, siendo el caso de la esterina de palma hidrolizada que es soluble en alcohol caliente y en cloroformo, es ligeramente soluble en alcohol frío éter y éter de petróleo; pero insoluble en agua. La estearina hidrogenada tiene aplicaciones como acelerador de cristalización, lubricante y agente de acabado de superficies. La Esterina utilizada este proceso es de la marca JACKSONLEA.

- ✓ **Esmeril malla 150 de Al_2O_3** . Al pulir las piezas con este esmeril, en ambas partes de la pieza, se difuminan las rayas gruesas heredadas del pre-acabado como muestra la Figura 25.



Figura 25. Pulido desvanecedor de rayas gruesas en ambas partes de la pieza artesanal después del pre-acabado.

- **Esmeril malla 220 de Al_2O_3** . Al igual que el esmeril pasado disminuye las rayas gruesas, en ambas partes de la pieza, pero ahora con un acabado más fino (Figuras 26 y 27).



Figura 26. Pulido desvanecedor de rayas gruesas en ambas partes de la pieza después del pulido con el primer esmeril.



Figura 27. Parte externa de las piezas artesanales después del pulido con los dos primeros esmeriles.

- **Lija grano 100 de Al_2O_3 .** Al pulir ambas partes de las piezas con esta lija de grano grande se van disminuyendo las rayas gruesas ocasionadas en el pre-acabado. Quita todas las superficies, filos y rugosidades no deseadas en la pieza como muestran las Figuras 28 y 29.

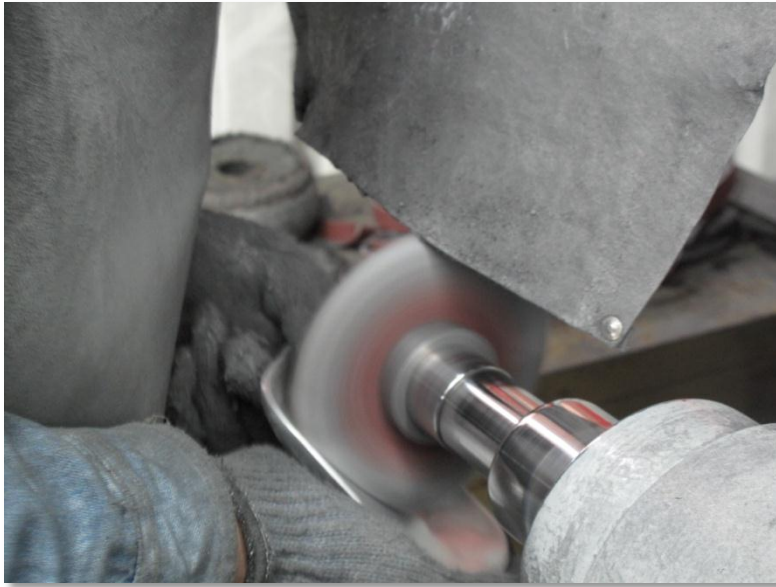


Figura 28. Pulido desvanecedor de rayas gruesas en ambas partes de la pieza artesanal después del pre-acabado.



Figura 29. Pieza pulida con lija grano 100 de Al_2O_3 (en ambas partes pieza artesanal) para desvanecer rayas gruesas ocasionadas en el pre-acabado.

- **Lija grano 240 de Al_2O_3 .** Al pulir con esta lija de grano más fino se busca obtener los mismos resultados que con la lija anterior (grano 100) pero con un acabado más fino (Figuras 30 y 31). Es decir, al pulir ambas partes de la pieza con esta lija se eliminan las rayas gruesas después el pulido con la primera lija.

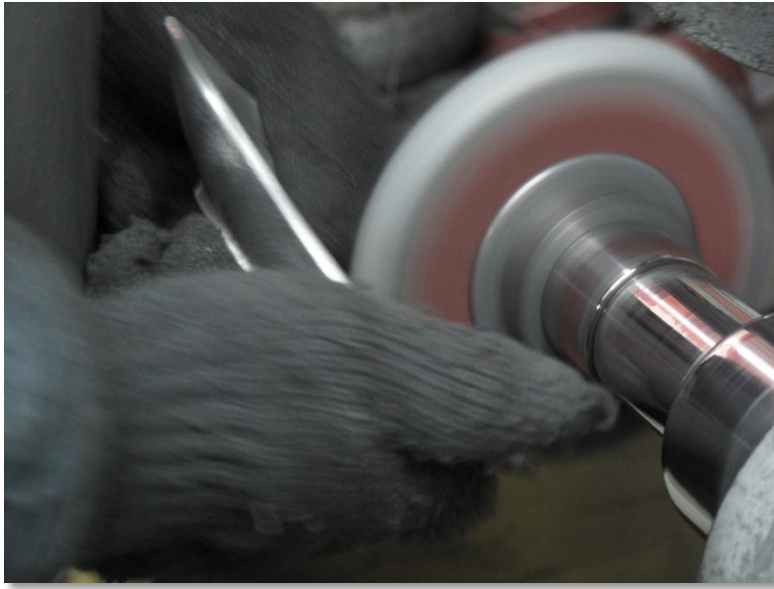


Figura 30. Pulido desvanecedor de rayas gruesas en ambas partes de la pieza artesanal después del pulido con la lija de grano 100.

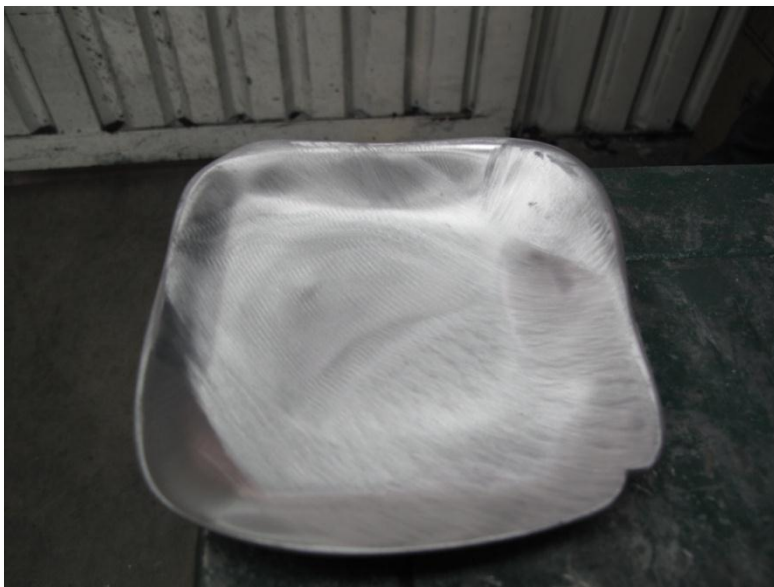


Figura 31. Pieza pulida con lija grano 240 de Al_2O_3 (en ambas partes pieza artesanal) para desvanecer rayas gruesas que siguen en la pieza después del pulido con la lija de grano 100 de Al_2O_3 .

- **Lija grano 400 de Al_2O_3 .** El pulido con esta lija da un acabado más fino que con todas las lijas antes mencionadas ya que disminuye en toda la pieza las posibles rayas derivadas del pulido previo (Figuras 32 y 33).



Figura 32. Pulido desvanecedor que afina las posibles rayas gruesas, en ambas partes de la pieza.



Figura 33. Piezas pulidas con una lija de grano 400 de Al_2O_3 (en ambas partes pieza) que muestran una raya más fina y un mejor acabado de la pieza.

Nota:

- Para obtener acabados finos, en cada de una de las etapas del pulido, es necesario untarle a los esmeriles y a las lijas Esterina.

Brillo.

Esta última etapa, de los mencionados métodos de evaluación, es la etapa que le da a las piezas ornamentales esa característica que las hace visibles y atractivas para sus clientes. Ya que aquí se le busca dar a las piezas fabricadas la calidad y ese brillo tan característico de las piezas artesanales elaboradas con el mencionado pewter mexicano, que es tan parecido a la plata. A continuación se enlista el proceso de abrillantado utilizado en METALART:

- **Sisal (tela de mezclilla + zacate).** El sisal puede ser de diferentes tamaños como muestran las Figuras 34 y 35, el tamaño a utilizar dependerá de la geometría de la pieza. Este proceso refina el pulido eliminando por completo la textura opaca de la pieza y comienza a dar brillo a la misma suavizando las delgadas líneas producidas por el pulido (Figura 36).



Figura 34. Abrillantado de la parte externa de las piezas con un sisal grande.



Figura 35. Abrillantado de la parte interna de las piezas con un sisal pequeño.



Figura 36. Piezas después del abrillantado con el sisal.

- **Rueda de Manta (tela de algodón).** La rueda de manta puede ser de diferentes tamaños como se observa en las Figuras 37 y 38, el tamaño a utilizar dependerá de la geometría de la pieza. Como muestra la Figura 39, este es último proceso utilizado en el abrillantado, por lo que se puede concluir que la manta de algodón solo le saco a la pieza el máximo brillo posible.

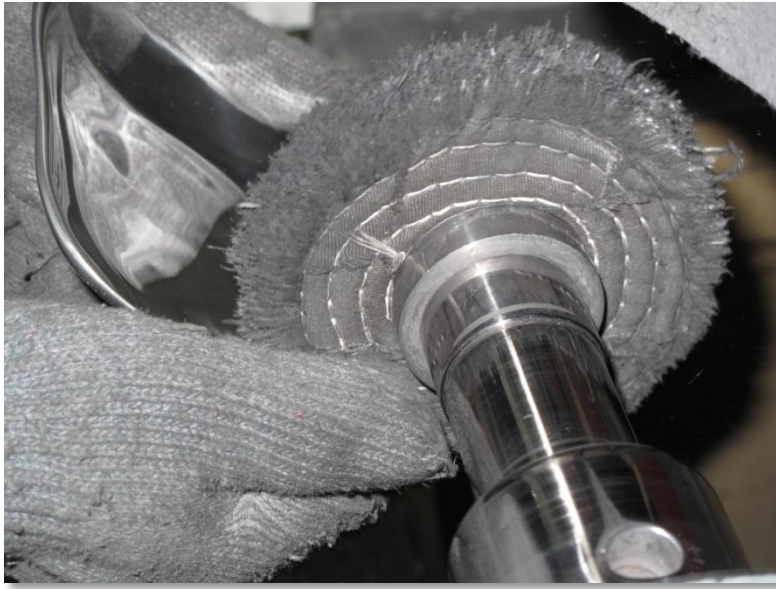


Figura 37. Pieza abrillantada, en la parte interna, con una manta de menor tamaño.

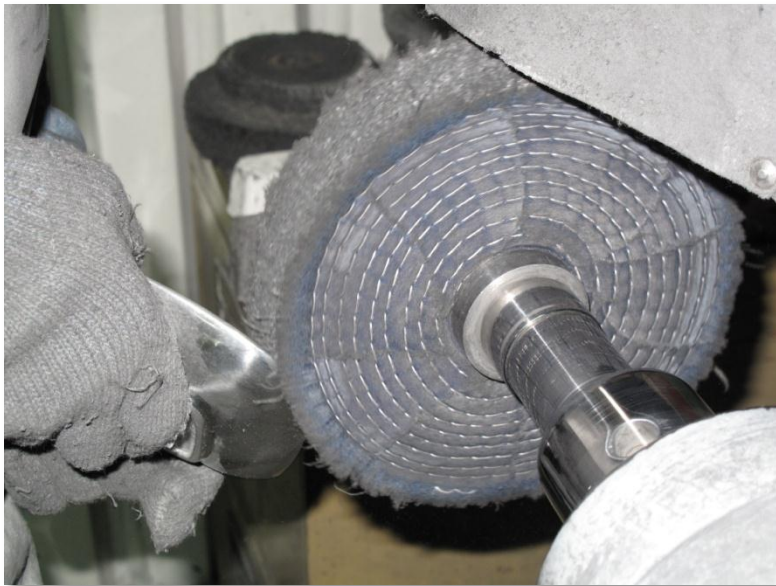


Figura 38. Pieza abrillantada, en la parte externa, con una manta de mayor tamaño.



Figura 39. Piezas después del proceso de pulido y abrillantado listas para ser lavadas y empaquetadas.

Nota:

Para obtener acabados finos, durante el pulido con el sisal, se utiliza la pasta verde¹² como lubricante. Y en el mismo caso, para la rueda de manta, se utiliza una mezcla de pasta blanca¹³ y pasta gris¹⁴ para sacar el máximo brillo y para evitar que se marque de más la manta en las piezas.

Aclaraciones sobre el pre-acabado, pulido y abrillantado:

1. Para fines prácticos, la pieza artesanal fabricada se dividió en dos partes; parte externa y parte interna, como muestra a continuación la Figura 40:

¹² La fórmula de la pasta verde no fue proporcionada por proveedor. Solo se sabe que dicha pasta es que es de la marca JACKSONLEA.

¹³ La fórmula de la pasta blanca no fue proporcionada por proveedor. Solo se sabe que dicha pasta es que es de la marca JACKSONLEA.

¹⁴ La fórmula de la pasta gris no fue proporcionada por proveedor. Solo se sabe que dicha pasta es que es de la marca JACKSONLEA.



Figura 40. La figura del lado izquierdo muestra la parte interna de la pieza artesanal y la figura del lado derecho muestra la parte externa de la misma pieza artesanal.

2. Las pastas utilizadas en el proceso de pre-acabado, pulido y abrillantado, son de la marca JACKSONLEA y se muestran a continuación en la Figura 41.



Figura 41. Pastas JACKSONLEA.

3. En la Figura 42 se muestra como se debe de utilizar las pastas en el equipo de pre-acabado, pulido y abrillantado.



Figura 42. Forma de utilizar las pastas JACKSONLEA.

4. En las siguientes figuras, Figuras 43 y 44 se indica cómo se deben de incorporar, en una rueda de manta, las lijas utilizadas en el proceso de pulido:



Figura 43. Incorporación de las lijas utilizadas en el proceso.



Figura 44. Vista del pulido con las lijas incorporadas en la rueda de manta.

Lavado y empaquetado de las piezas artesanales.

Las piezas después del proceso de abrillantado se lavan en agua caliente con jabón en barra (jabón para lavar ropa) y desengrasante comercial¹⁵. Enseguida con un paño se secan y se frotan con una pasta tipo Brasso para enseguida ser empaquetadas en bolsas de plástico y en cajas de la empresa para ser distribuidas a sus compradores.

4.5 Dureza, resistencia al pulido y abrillantado de las piezas fabricadas en la UNAM según el método de evaluación de METALART.

A las piezas fabricadas en la Facultad de Química, con distintos contenidos de Ni y con diferente relación de Fe/Cu, se les evaluó el ensayo de dureza Brinell con el equipo DIM. Pero el proceso de pulido y abrillantado se llevo a cabo en METALART, a continuación se muestran, en la Tabla 8 los resultados obtenidos según la evaluación del Departamento de pulido de METALART.

¹⁵ La ficha técnica de dicho desengrasante comercial ***falta ser proporcionada por la empresa METALART S.A. de C.V.***

Tabla 8. Resultados de piezas pulidas (platos botaneros) por el Departamento de pulido, fabricadas en los laboratorios de la Facultad de Química de la UNAM.

| Grupo | Pieza | Relación Fe/Cu | | Contenido de Ni | Dureza | | | Pieza más dura | Respuesta al pulido | | | Pieza con mejor respuesta al pulido | Brillo | | |
|-------|-------|----------------|----|-----------------|--------|-------|------|----------------|---------------------|-------|------|-------------------------------------|--------|-------|------|
| | | Fe | Cu | | Alta | Media | Baja | | Alto | Medio | Bajo | | Alto | Medio | Bajo |
| ① | 1 | 1 | 1 | 0% | | | ■ | | | | ■ | | | | ■ |
| | 2 | 1 | 2 | 0% | | | ■ | | | ■ | | | ■ | | |
| | 3 | 1 | 3 | 0% | ■ | | | ■ | ■ | | | ■ | ■ | | |
| ② | 4 | 1 | 1 | 0.2% | ■ | | | ■ | | | ■ | | ■ | | |
| | 5 | 1 | 2 | 0.2% | | ■ | | | | ■ | | ■ | | ■ | |
| | 6 | 1 | 3 | 0.2% | | | ■ | | | ■ | | ■ | | ■ | |
| ③ | 7 | 1 | 1 | 0.4% | | | ■ | | | | ■ | | ■ | | |
| | 8 | 1 | 2 | 0.4% | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | | ■ | |
| | 9 | 1 | 3 | 0.4% | | ■ | | ■ | | | ■ | | | ■ | |

Nota:

1. Las piezas del **Grupo 1** son piezas que no tienen níquel y solo cuentan con el porcentaje de Ni nominal de la aleación 356.2MA utilizada en METALART. Por lo cual, a dicho contenido de Ni se le considera como 0.0% para fines de este proyecto.

Comentarios del Departamento de pulido:

Los comentarios se resumen en la tabla 9, para cada una de las piezas fabricadas en la el DIM de la FQ de la UNAM

Tabla 9. Comentario del Departamento de pulido.

| | |
|-----------------------|---|
| Piezas sin Ni. | <ul style="list-style-type: none">• Pieza 1 presenta las mismas características en brillo que las piezas fabricadas en METALART.• Pieza 2,<ul style="list-style-type: none">✓ Fue más fácil de pulir.✓ Es la pieza con menos problemas de fundición.✓ Presenta un acabado más fino.✓ Su proceso de pulido y abrillantado es menos difícil en comparación con las Piezas 1 y 3.✓ Mayor dureza• Pieza 3, es la pieza que presenta más brillo. |
| Piezas con Ni. | <ul style="list-style-type: none">• La Pieza 5,<ul style="list-style-type: none">✓ Presenta un mejor acabado más fino y con un color más oscuro pero con un brillo agradable que hace ver la pieza más llamativa y elegante.✓ Su acabado fue el mejor ya que casi no observan poros y las rayas producto del sisal no se ven tan marcadas como en las demás piezas (Piezas 4, 6, 7, 8 y 9).✓ Es la pieza con menos problemas de fundición.✓ MUESTRA UNA ELEGANCIA DE PRIMER NIVEL.• Las Piezas 8 y 9 tienen una dureza similar.• La Pieza 8 presenta un acabado precioso¹⁶, muy similar al de la Pieza 5, no mejor. |

En resumen, la Tabla 9 menciona que en su mayoría las piezas con contenido de Fe/Cu 1:2 presentan un mejor acabado, una menor resistencia al pulido y un mejor brillo en

¹⁶ Precioso es un término que el experto del Departamento de pulido utilizo al referirse a la mencionada pieza. Dicho término significa excelente.

comparación con las demás piezas fabricadas, aunque la pieza que presento el máximo brillo en el grupo 1 sin Ni, fue la pieza con relación 1:3 además de que esta pieza fue la más dura.

Según el criterio del Departamento de pulido, la mejor pieza con una dureza óptima, una menor resistencia al pulido y con mayor brillo único, fue la que contenía la relación de Fe/Cu 1:2 con 0.2% Ni.

Por último se mencionó que las piezas con 0.4% de Ni con las relaciones de Fe/Cu 1:2 y 1:3 presentan una dureza similar, a la pieza con la misma relación de Fe/Cu pero con 0.2% de Ni. La Figura 45, muestra las piezas fabricadas en la Facultad de Química, las cuales fueron pulidas y abrigantadas en METALART:

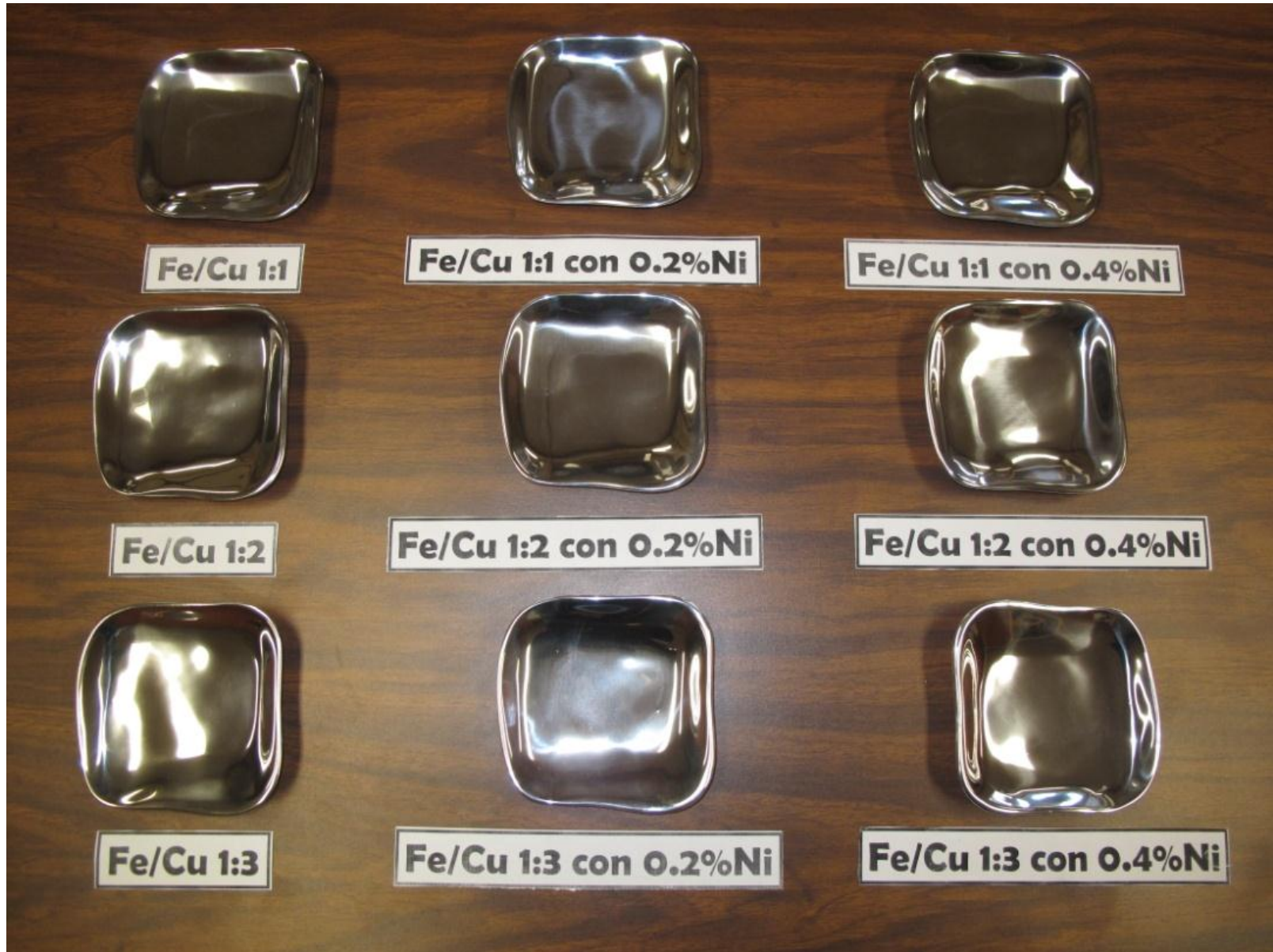


Figura 45. Piezas (platos botaneros) fabricadas en la Facultad de Química.

Criterio del Departamento de pulido para decidir si una pieza es dura o suave:

“... Cuando la pieza artesanal sale del proceso de pre-acabado se dirige al área de pulido y abrillantado. Es durante el pulido donde el operador puede determinar la dureza de la pieza ya que el esfuerzo aplicado a este proceso le permite al experto determinar la dureza. Y es que sí una pieza cuesta mucho trabajo pulir, debido al alto esfuerzo aplicado en este proceso, se trata de una pieza artesanal dura (una pieza con alta dureza). Por lo contrario, si al pulir la pieza artesanal no le cuesta mucho trabajo, debido a su bajo esfuerzo aplicado, se trata de una pieza suave (una pieza de menor dureza).

Por lo tanto, al referirse a una pieza blanda y a una pieza dura se refiere al esfuerzo aplicado durante el pulido, esto es debido a que una pieza dura le cuesta más trabajo pulir que una pieza suave, ya que una pieza se empasta en los esmeriles y en las lijas y, a al pulidor se le dificulta más pulir la pieza por qué tiene que llevar a cabo tal proceso pero ahora adecuándose a las condiciones que la dureza de la pieza lo obligan para hacer un trabajo de calidad...”

Los términos del experto pulidor, sobre lo que él considera suave o duro tienen un significado que exactamente significan lo contrario. Porque para él una pieza dura es una pieza que le cuesta mucho trabajo pulir y una pieza suave es una pieza que no le costó tanto trabajo pulir. Por lo que una pieza dura es una pieza que, en este caso, tiene una dureza Brinell baja, dentro de los límites de dureza que pueden presentar las aleaciones de aluminio y, por el contrario, una pieza suave es una pieza que presenta un valor alto de dureza Brinell, dentro de los mismos límites de dureza antes mencionados.

A continuación, en la Figura 46, se presenta un gráfico que comprueba la sensibilidad que el Departamento de pulido tiene para identificar piezas duras y piezas suaves dentro de toda la gama de piezas artesanales que METALART fabrica.

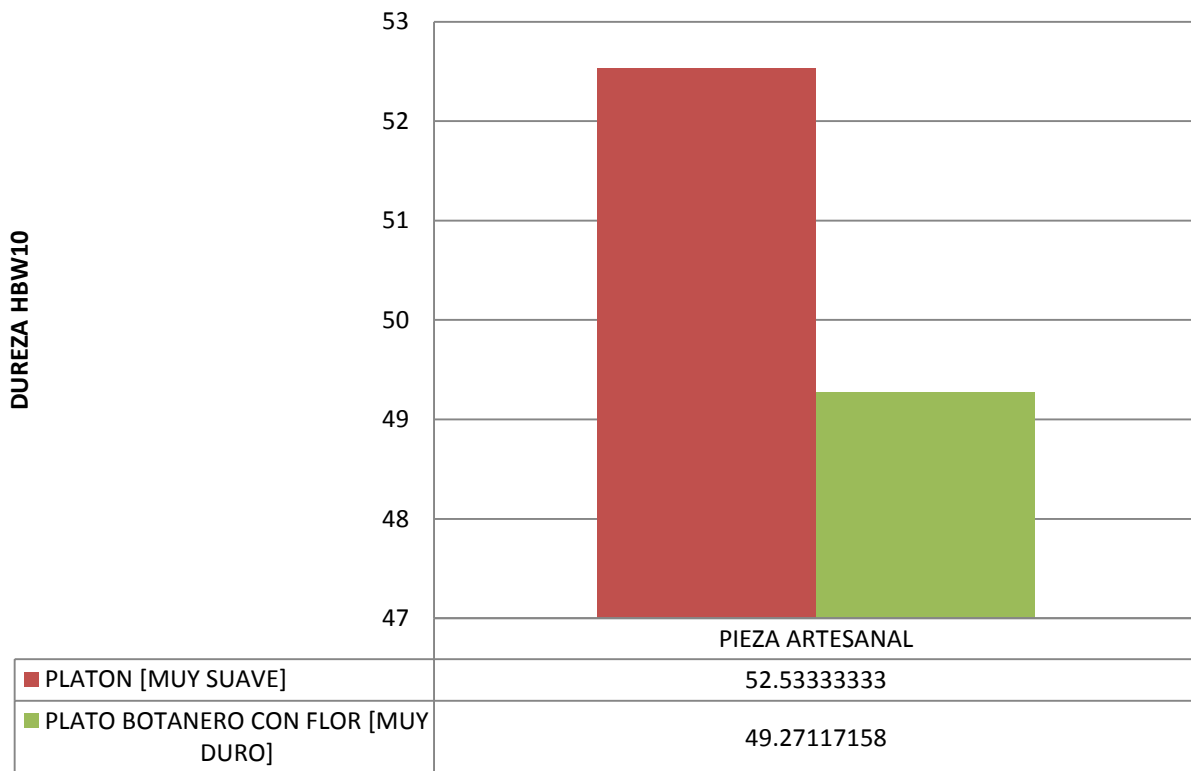


Figura 46. Dureza HBW10 de piezas suaves y duras fabricadas en METALART.

Como se observa en el gráfico anterior, el platón muy suave presenta una mayor dureza Brinell que el plato botanero muy duro, por lo que, queda comprobado que el criterio y la sensibilidad del Departamento de pulido (experto pulidor) para determinar piezas suaves y piezas duras, lo cual permite a la empresa METALART saber si la aleación que trabaja en ese momento será o no de buena calidad. Por lo que, *la opinión del experto pulidor será tomada en cuenta para los fines que este proyecto busca alcanzar*, entre los cuales sobresale la intención de mejorar y optimizar la aleación utilizada por METALART para que sus piezas ornamentales logren poder tener una plusvalía que las haga diferentes y que los clientes las prefieran por encima de su competencia.

En conjunto con lo obtenido en la Facultad de Química y con la aportación del Departamento de pulido.

4.6 Piezas fabricadas en METALART con diferentes relaciones de Fe/Cu y con distintos contenidos de Ni.

En METALURGICA ARTESANAL S.A. DE C.V., se realizaron tres fusiones con composiciones químicas diferentes. En todas las ocasiones se utilizó la relación de Fe/Cu 1:2, esto debido a que la mayoría de las piezas fabricadas con esta relación fueron las que mostraron la máxima dureza en el ensayo de dureza Brinell realizado en la Facultad de Química (Figura 12).

La primera fusión se realizó modificando la aleación 356.2MA de manera tal que la composición de Fe y de Cu tuvieran una relación de Fe/Cu 1:2, como antes se había mencionado. En la segunda fusión se modifico el contenido de Ni al 0.2% debido a que las piezas fabricadas con este porcentaje de Ni, junto con la relación de Fe/Cu 1:2, obtuvieron la máxima dureza como las fabricadas en la Facultad de Química de la UNAM. Por último, para realizar la tercera fusión se analizaron los gráficos de dureza antes obtenidos (Figura 11) y se llego a la conclusión de manejar un contenido de Ni menor al 0.4% y mayor del 0.2%, ya que la dureza obtenida con 0.2% de Ni fue solo un poco mayor que la dureza obtenida con 0.4% de Ni, así que el contenido de Ni al 0.3% era la mejor opción a utilizar.

Debido a que la cantidad disponible de Ni era limitada, solo se alcanzó para elevarlo a 0.26 %.

Cabe mencionar que en cada fusión realizada en METALART, se fundieron alrededor de 200Kg de material y se fabricaron piezas problema, es decir difíciles de fabricar y con elevado rechazo. Por lo que para añadir el Cu y el Ni en la aleación de aluminio líquida se ocupo una base de cálculo de 200 Kg.

El Cu utilizado provenía de alambón de Cu con 99.999% de pureza y, él Ni que se utilizo era en forma de hojuelas de Ni electrolítico con 99.95% de pureza.

4.6.1 Piezas fabricadas en METALART con relación de Fe/Cu 1:2.

Se fabricaron 206 piezas en METALART, con los aproximadamente 200 Kg de metal de que se fundieron. Dichas piezas tuvieron relación de Fe/Cu 1:2 con los siguientes comentarios por parte del Departamento de pulido.

- Ligeramente aumento el brillo, lo suficiente para mostrar mejoría en comparación con las mismas piezas ornamentales fabricadas con la aleación 356.2MA que normalmente ocupan.
- Las piezas presentaron un aluminio compactado¹⁷.
- Buen corte.
- Piezas duras, se prestaban muy bien en la lija.
- Tuvieron problemas para el abrillantado ya que las mantas no hacían brillar a las piezas.
- En el brillo, a las piezas se les veía la marca de la manta en la pieza.

En la Figura 47 se muestran dos piezas ornamentales parecidas pero con composición química diferente; una con la aleación 356.2MA y otra con la misma aleación pero modificada con una relación de Fe/Cu 1:2.

¹⁷ La palabra compactado es un término utilizado por el experto del Departamento de pulido de METALART y que se refiere a que la pieza no presenta poros.

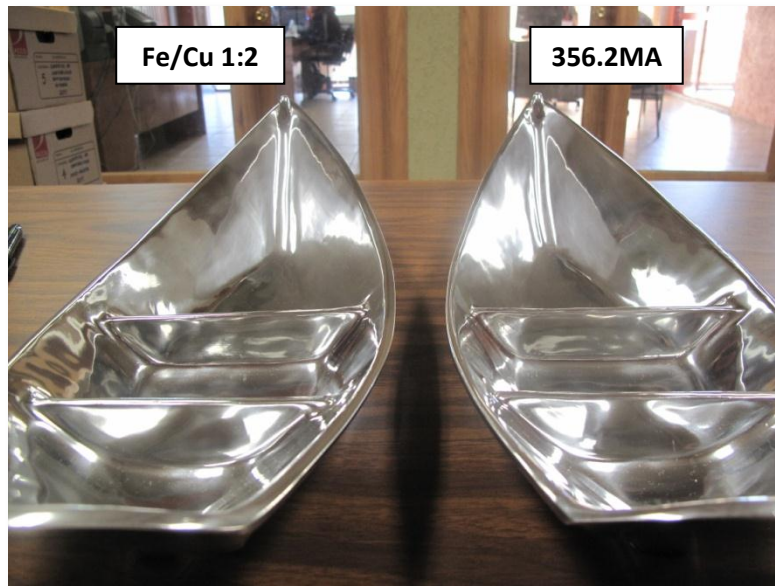


Figura 47. Piezas ornamentales (barcos botaneros) fabricadas en METALART, una con relación de Fe/Cu 1:2 y la otra con la aleación convencional.

En la Tabla 10 se muestra la dureza Brinell que presenta la pieza en forma de “sandalia”, la cual se fabricó con la aleación 356.2MA para que tuviera una relación de Fe/Cu 1:2. En la Figura 48, se compara la dureza Brinell de la SANDALIA fabricada en METALART con relación de Fe/Cu 1:2 junto con la pieza (plato botanero) con relación de Fe/Cu 1:1, que se encuentra en la Tabla 4, la cual se trata de la aleación 356.2MA utilizada en METALART.

Tabla 10. Dureza Brinell de “sandalia” con relación de Fe/Cu 1:2.

| SANDALIA Fe/Cu 1:2 | | | |
|---------------------------|----------------|----------------------|-------------------|
| δ1 (mm) | δ2 (mm) | Promedio (mm) | DUREZA |
| 4.5 | 4.45 | 4.475 | 60.2196329 |
| 4.55 | 4.5 | 4.525 | 58.8178289 |
| 4.5 | 4.55 | 4.525 | 58.8178289 |
| | | | 59.2850969 |

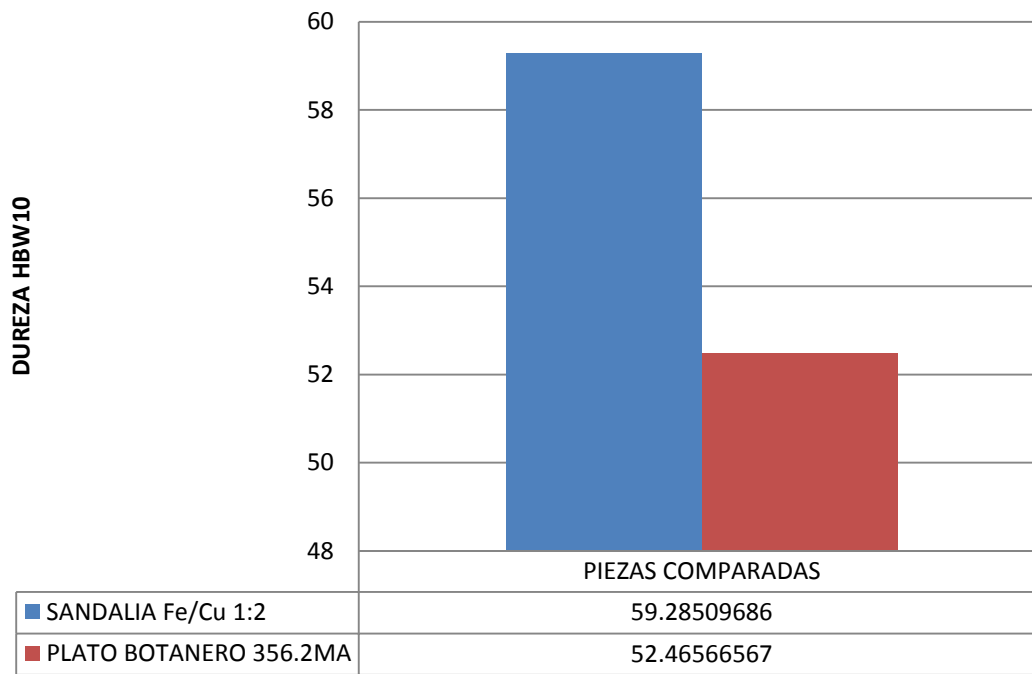


Figura 48. Dureza de pieza (sandalia) con relación de Fe/Cu 1:2 vs. Dureza de pieza con la aleación que ocupa METALART en sus piezas, aleación 356.2MA.

Como muestra la figura, la “sandalia” presento un incremento en su dureza en comparación con el “plato botanero” que se fabricó con la aleación actual que ocupa METALART. Lo que sugiere un aumento de la dureza, de la pieza con relación de Fe/Cu 1:2 y se puede deber al aumento en el contenido de Cu. Por lo en las Tablas 11 y 12 se muestran las composiciones químicas de ambas piezas para su análisis.

Tabla 11. Composición química de la “sandalia” con relación de Fe/Cu 1:2.

| | | | | | | | | |
|--------|---------|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| — X | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Ti |
| | % | % | % | % | % | % | % | % |
| | 6.18 | 0.380 | 0.60 | 0.040 | 0.063 | 0.024 | 0.033 | 0.105 |
| — X | Sr | Al | | | | | | |
| | % | % | | | | | | |
| | <0.0001 | Balance | | | | | | |

Tabla 12. Composición química del plato botanero de la aleación 356.2MA.

| | | | | | | | | |
|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| — X | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Ti |
| | % | % | % | % | % | % | % | % |
| | 5.79 | 0.3476 | 0.3655 | 0.0337 | 0.0489 | 0.0186 | 0.0064 | 0.1454 |
| — X | Sr | Al | | | | | | |
| | % | % | | | | | | |
| | 0.0002 | Balance | | | | | | |

El Si varia en 0.4 % con lo cual se puede determinar que el aumento en el contenido de Cu si influyo en el aumento de la dureza de la pieza con relación de Fe/Cu 1:2, aunque la variación en el contenido de Si pudo haber tenido algún efecto adicional.

4.6.2 Piezas fabricadas en METALART con una relación de Fe/Cu 1:2 + 0.2% de Ni.

Con los cerca de 200 Kg de metal de que se fundieron, se fabricaron en METALART cerca de 176 piezas ornamentales. Dichas piezas fueron fabricadas con la aleación 356.2MA y con 0.2% de Ni y una relación de Fe/Cu 1:2. Las piezas tuvieron los siguientes comentarios por parte del Departamento de pulido.

- Aumento considerable del brillo.
- Las piezas mostraron un color oscuro muy agradable, el cual brillaba de una forma muy singular que hacía que las piezas se vieran muy elegantes.
- Presentó un aluminio compactado.
- Se necesito más presión en lijas para quitar rayas.
- Soportan muy bien el pulido ya que al pulir las piezas estas no se deformaban

En la Figura 49 se muestra una “sandalia” fabricada con la aleación 356.2MA con 0.2% de Ni y una relación de Fe/Cu 1:2.



Figura 49. “Sandalia” fabricada con una aleación 356.2MA con 0.2% de Ni y una relación Fe/Cu 1:2.

La Tabla 13 muestra la dureza Brinell que presenta la pieza en forma de “joyero”, el cual se fabricó con la aleación 356.2MA con 0.2% de Ni y una relación de Fe/Cu 1:2. En la Figura 50, se compararan las durezas obtenidas en dos piezas. Una de las piezas es el mismo “plato botanero” de la Tabla 12 y la otra pieza se trata del “joyero”, antes mencionado.

Tabla 13. Dureza Brinell del JOYERO con relación de Fe/Cu 1:2 + 0.2% de Ni.

| JOYERO Fe/Cu 1:2 + 0.2%Ni | | | |
|----------------------------------|----------------|----------------------|-------------------|
| δ1 (mm) | δ2 (mm) | Promedio (mm) | DUREZA |
| 4.5 | 4.55 | 4.525 | 58.8178289 |
| 4.6 | 4.55 | 4.575 | 57.4615133 |
| 4.55 | 4.55 | 4.55 | 58.1341101 |
| | | | 58.1378174 |

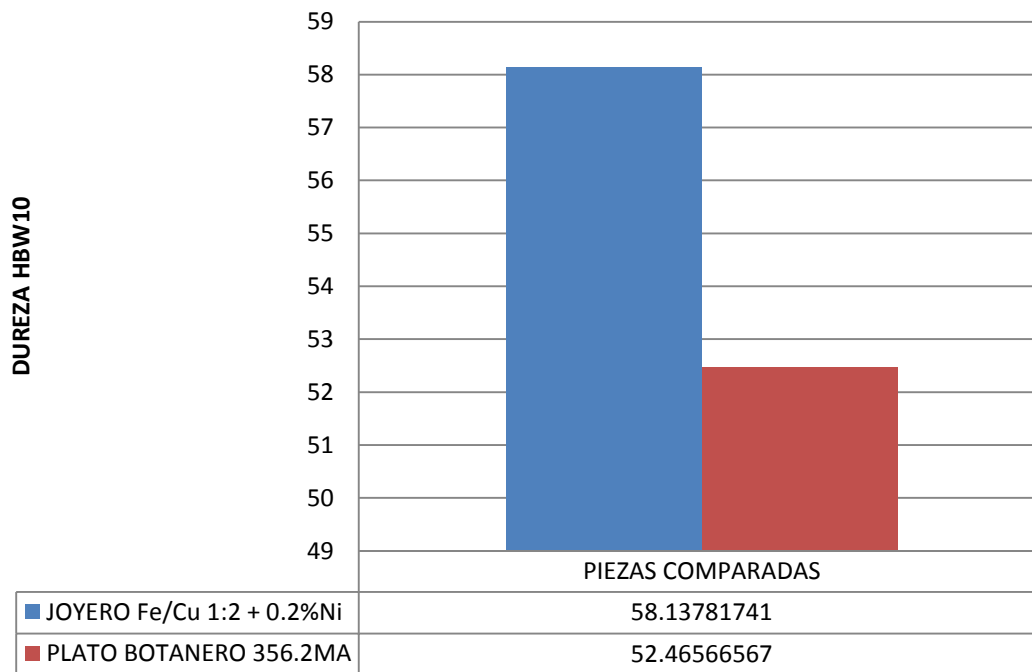


Figura 50. Dureza de pieza (joyero) con relación de Fe/Cu 1:2 + 0.2% de Ni vs. Dureza de pieza (plato botanero) con la aleación que ocupa METALART en sus piezas, aleación 356.2MA.

Según la Figura 50, el “joyero” es más duro en comparación con el “plato botanero” que se fabricó con la aleación 356.2MA, por lo que a simple vista se observa que el aumento en la dureza de la pieza con relación de Fe/Cu 1:2+0.2% de Ni se puede deber al aumento en el contenido de Cu y de Ni. Por lo que a continuación, en la Tabla 14 se muestra la composición química de la “sandalia” con la aleación antes mencionada.

Tabla 14. Composición química de la “sandalia” con relación de Fe/Cu 1:2 + 0.2% de Ni.

| | | | | | | | | |
|--------|---------|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| — X | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Ti |
| | % | % | % | % | % | % | % | % |
| | 6.35 | 0.316 | 0.63 | 0.063 | 0.066 | 0.026 | 0.200 | 0.098 |
| — X | Sr | Al | | | | | | |
| | % | % | | | | | | |
| | <0.0001 | Balance | | | | | | |

Analizando la Tabla 12 y la Tabla 14 se observa una ligera diferencia en el contenido de los elementos no importantes en cuanto a la dureza de la pieza. Sin embargo, el contenido de Si y de Ti varían, por lo que el aumento en el contenido de Cu y de Ni influyo directamente en el aumento de la dureza de la pieza con relación de Fe/Cu 1:2 + 0.2% de Ni aunque la variación en los contenidos de Si y de Ti pudo haber influido de alguna manera. Por su parte el Ti en las aleaciones de aluminio influye directamente en lo que es el refinamiento de grano y, a pesar de que para que el Ti pueda actuar como refinador de grano debe de encontrarse en un intervalo del 0.15 al 0.25% en las aleaciones de aluminio, METALART por lo regular siempre cuenta con mínimo 0.14% de Ti, pero en esta ocasión no llega su composición ni al 0.10%.

4.6.3 Piezas fabricadas en METALART con una relación de Fe/Cu 1:2 + 0.26% de Ni.

Se fabricaron cerca de 182 piezas con los cerca de 200 Kg de aleación de aluminio de que se fundieron. Las piezas fueron fabricadas con la aleación 356.2MA con 0.26% de Ni y una relación de Fe/Cu 1:2. Las piezas tuvieron los siguientes comentarios por parte del Departamento de pulido.

- Gran aumento en el brillo, el cual no costaba trabajo observar.
- Las piezas mostraron un color aún más oscuro que las piezas con 0.2% de Ni, el cual es un color muy agradable, ya que además brillaron de una forma muy singular que hacía que las piezas se vieran muy elegantes y que parecieran piezas fabricadas en plata.
- Presentan un aluminio compactado.
- Piezas suaves o duras, por lo que son piezas muy adecuadas para el pulido.
- Cuesta un poco de trabajo abrillantar ya que se rayan con más facilidad, pero todo se solucionó cambiando un poco la forma de sacarle el brillo a las piezas.

En la Figura 51 se muestra un “joyero” con 0.26% de Ni y una relación de Fe/Cu 1:2:



Figura 51. Joyero fabricado con una aleación 356.2MA modificada para que contuviera 0.26% de Ni y una relación Fe/Cu 1:2.

La Tabla 15 muestra la dureza Brinell que presenta un joyero fabricado con la aleación 356.2MA modificada para que tuviera 0.26% de Ni y una relación de Fe/Cu 1:2. Además, en la Figura 52, se compararan las durezas obtenidas en dos piezas artesanales de METALART; dicha comparación se realizó con el “plato botanero” de la Tabla 12 y con el joyero con 0.26% de Ni.

Tabla 15. Dureza Brinell del “joyero” con relación de Fe/Cu 1:2 + 0.2% de Ni.

| JOYERO Fe/Cu 1:2 + 0.26%Ni | | | |
|-----------------------------------|----------------|----------------------|-------------------|
| δ1 (mm) | δ2 (mm) | Promedio (mm) | DUREZA |
| 4.75 | 4.6 | 4.675 | 54.8776086 |
| 4.6 | 4.65 | 4.625 | 56.1487254 |
| 4.6 | 4.65 | 4.625 | 56.1487254 |
| | | | 55.7250198 |

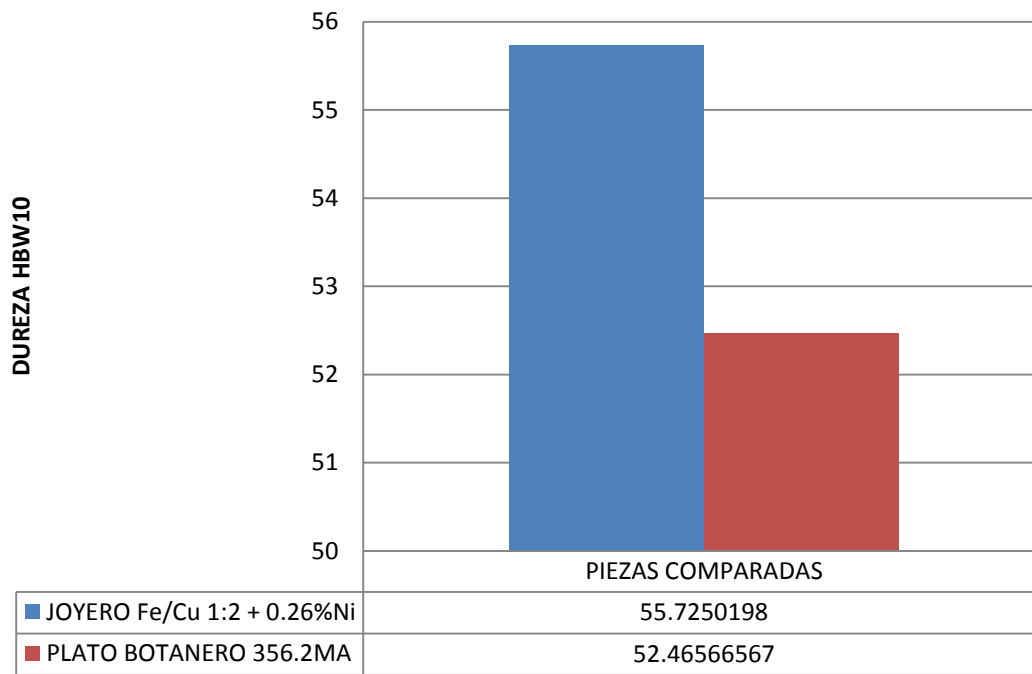


Figura 52. Dureza de pieza (joyero) con relación de Fe/Cu 1:2 + 0.26% de Ni vs. Dureza de pieza (plato botanero) con aleación 356.2MA.

La dureza del “joyero” con Fe/Cu 1:2 con 0.26% de Ni fue más alta en comparación con el “plato botanero” que se fabrica con la aleación 356.2MA, aunque no mayor al joyero con 0.2% de Ni y relación 1:2. Por lo que se vuelve a comprobar lo mencionado en las piezas fabricadas en la UNAM sobre el contenido de Ni y la cantidad de Fe y de Cu en la que se sitúa la mayor dureza de las piezas. A continuación, en la Tabla 16 se muestra la composición química de la “sandalia” con la relación Fe/Cu y el contenido de Ni con que se fabrica:

Tabla 16. Composición química de la “sandalia” con relación de Fe/Cu 1:2 + 0.2% de Ni.

| | | | | | | | | |
|--------|---------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| — X | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Ti |
| | % | % | % | % | % | % | % | % |
| | 6.11 | 0.325 | 0.60 | 0.066 | 0.072 | 0.039 | 0.261 | 0.106 |
| — X | Sr | Al | | | | | | |
| | % | % | | | | | | |
| | <0.0001 | 92.4 | | | | | | |

Analizando la Tabla 12 y la Tabla 16 se observa una ligera diferencia en el contenido de los elementos no importantes en cuanto a la dureza de la pieza. El Si aumento considerablemente (casi 1%), y este mejoro las características de fundición como el incrementar la fluidez, entre otras cosas. El contenido de Cu está al doble y junto con el aumento en el contenido de Ni, lo que explica claramente el aumento considerable de la dureza de las piezas debido al alza, principalmente, de estos dos elementos.

La Figura 53 muestra un gráfico comparativo que muestra la dureza de todas las piezas de este estudio, fabricadas en METALART, con las diferentes condiciones de composición química.

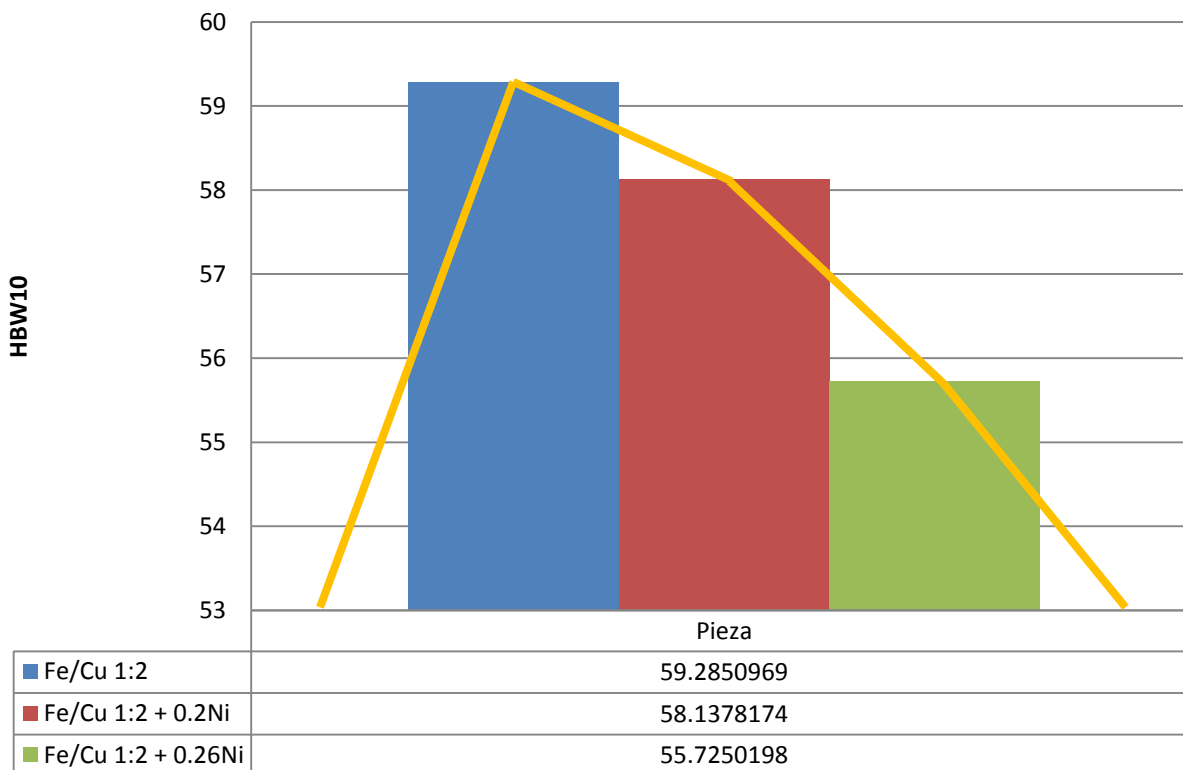


Figura 53. Variación de dureza Brinell de las piezas fabricadas en METALART.

Por lo que analizando el comentario del Departamento de pulido (experto pulidor) en todas las piezas fabricadas en METALART y, con la ayuda de la Figura 53, se concluye que:

1. El lote de piezas con relación de Fe/Cu 1:2 aumento considerablemente la dureza de la pieza, se prestaba muy bien a la lija durante el pulido y presentó buen corte aunque la manta no hacia brillar la pieza y esta se marcaba en las piezas.
2. Las piezas con 0.2% de Ni y una relación de Fe/Cu 1:2 presento un aluminio más compactado (libre de porosidades), mayor durezas, en general se prestaba bien a la lija (en cuanto abrasivos), soportó muy bien el pulido y no se deformaba la pieza aunque se necesitaba más presión en la lija para quitar las rayas.
3. En su totalidad, las piezas con 0.26% de Ni y relación de Fe/Cu presentaron un color azul oscuro que brillaba de una forma muy elegante y que le daba un brillo único a las piezas, además fueron más suaves, eran más adecuadas para el pulido, eran más fácil de trabajar, presentaban aluminio 100% compactado aunque costo trabajo abrillantarla ya que se rayaba fácilmente.

Dichos comentarios sirvieron para seleccionar un contenido óptimo de la relación de Fe/Cu y del contenido de Ni que a nivel industrial, ya no solo a nivel laboratorio. Siendo el lote de piezas con 0.26% de Ni y una relación de Fe/Cu 1:2 que se logró llegar al contenido optimo del 0.26% de Ni y de Fe/Cu 1:2 ya que estos valores eran intermedios y disminuían a un nivel adecuado la dureza de las piezas más duras, con 0.2% de Ni y relación de Fe/Cu 1:2.

Capítulo 5: Conclusiones.

De acuerdo a los resultados obtenidos y a sus análisis, las conclusiones finales son las siguientes:

1. El contenido de Cu en las relaciones de Fe/Cu fue el responsable del aumento de la dureza de las piezas. Ya que esta propiedad vario desde 52.4 hasta los 55.7HBW10 y, en conjunto con los contenidos de Ni la dureza se elevo hasta los 60.94HBW10 casi 10 puntos, por lo que la relación Fe/Cu con los contenidos de Ni, en particular con 0.2% del mismo, probablemente formo un intermetálico que fomento en la aleación 356.2MA un aumento considerable en su dureza. Esto no se puede comprobar ya que para fines de este proyecto no se realizaron metalografías y solo se basa en la dureza para poder concluir esta aseveración. Además, el Cu también mejoro un poco el brillo de las piezas haciendo que estas tuvieran un color blanco más brillante, en comparación con las piezas fabricadas normalmente con la aleación 356.2MA.
2. Adicionando con Ni para que la aleación tuviera 0.2% de Ni para cada una de las relaciones de Fe/Cu manejadas se encontró que los dos valores máximos de dureza tenían este porcentaje de Ni ya que los valores iban desde los 54.8 hasta los 60.94 HBW10 y, para las relaciones 1:2 y 1:3 de Fe/Cu se obtuvieron los mejores brillos de todas las piezas fabricadas, siendo la pieza con relación 1:2 la que contenía las mejores propiedades requeridas; dureza y brillo, además de que también se obtuvo la pieza con el peor brillo de todas ya que se veía muy blanqueada y la pieza parecía de plástico con algún tipo de recubrimiento electrolítico y no se parecía en nada a lo que busca el Pewter al intentar parecerse a la plata.
3. Las piezas con 0.4% de Ni en su mayoría no varió la dureza ya que de 55.3 HBW10 se elevo a 58.4 HBW10, esta propiedad se comporto casi lineal por lo que la dureza es directamente proporcional al contenido de Ni, aunque valores máximos de dureza se encontraron entre las relaciones 1:2 y 1:3 de Fe/Cu aunque solo vario un punto de dureza por lo que cualquiera de los dos valores,

0.2 ó 0.4% de Ni, pueden utilizarse como valor optimo de Cu, para este porcentaje de Ni. El brillo por su parte siguió la misma tendencia lineal y las piezas con 1:2 y 1:3 de Fe/Cu obtuvieron el mejor brillo siendo la pieza con la última relación la que presentaba un brillo singular, pero al igual que la dureza el valor máximo de Cu se encuentra entre las relaciones 1:2 y 1:3 siendo cualquiera de los dos valores el valor máximo de Fe/Cu con el que se obtendría el máximo brillo, aunque cabe mencionar que la pieza siguió con el blanqueado de las piezas con 0.2% de Ni haciendo que las piezas se vieran de mala calidad.

4. Al comparar el efecto de la dureza y el abrillantado de todas las piezas de aluminio fabricadas se observa una tendencia muy parecida, ya que las piezas muy duras obtuvieron los mejores brillos. Esto podría deberse a que el aluminio al ser más duro facilitaba su pulido y abrillantado dando a la pieza un mejor acabado.
5. Quedo demostrado como correcto el criterio del experto pulidor de las piezas duras y suaves, ya que al referirse a una pieza suave significa metalúrgicamente que la pieza tiene una alta dureza por lo que la pieza se puede pulir muy suavemente sin aplicar trabajo extra. Por lo que, refiriéndose al punto anterior, las piezas que para el pulidor estaban más suaves fueron las que metalúrgicamente tenían una dureza alta y un mejor brillo.
6. Al hablar de las piezas con mayor brillo también se tiene que hablar de la resistencia al pulido de las piezas ya que estos términos van ligados con el proceso de pulido de METALART, por lo que las piezas con mayor brillo presentaban una resistencia al pulido menor, por lo que estas dos propiedades no son directamente proporcionales ya que al aumentar el brillo disminuía la resistencia al pulido. Aunque hay sus excepciones, como en el caso de las piezas con relación de Fe/Cu 1:2 con 0.2% de Ni que vario esta tendencia debido a la alta dureza de las piezas ya que al pulidor le costaba más trabajo pulir porque estaba tan dura la pieza que la pieza se rayaba una y otra vez.
7. Concluyendo que, en las piezas fabricadas en la UNAM, la adición de las relaciones de Fe/Cu, en la aleación 356.2MA, incremento en gran número la dureza de las piezas, teniendo como punto máximo la relación 1:2, en cambio el Ni incremento muy poco la dureza de las piezas y actuó de manera más activa en el brillo de las mismas, teniendo como valor máximo el 0.2% de Ni. Y para las

piezas fabricadas en METALART el contenido óptimo de Fe/Cu fue el mismo que para las piezas fabricadas en la UNAM, pero en cambio el contenido de Ni óptimo en las piezas, fue del 0.26% debido a que este valor es un valor intermedio entre el 0.2 y el 0.4% de Ni (aproximado al 0.3%), debido a que las piezas fabricadas con 0.2% al pulirse les costaba mucho esfuerzo quitarles las rayas y quedaban con marcas muy evidentes en la pieza. Este fenómeno se ocasiono debido a la alta dureza de las piezas, aunque para el pulidor las piezas estaban muy suaves para dicho proceso de pulido. Por lo que analizando la Figura 11 se tomo la consideración de utilizar un valor aproximado al 0.3%.

8. Se aceptó la hipótesis de trabajo, ya que al introducir pequeñas cantidades de elementos aleantes, como lo es el Fe y el Cu en relaciones Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3, se promovió la precipitación de fases complejas y duras. Cabe mencionar que, el aumento en la dureza y en la respuesta al abrillantado de las piezas no depende al 100% al aumento en el contenido de Cu de las relaciones Fe/Cu manejadas, sino más bien, mediante el manejo de diferentes contenidos de Cu se logró establecer cuál fue la aleación con relación Fe/Cu que presentó la mayor dureza y cuál fue la que tuvo mayor respuesta al abrillantado. Por tanto los contenidos de Ni fueron los que aumentaron y cambiaron, en gran medida, el brillo de las piezas.

Bibliografía.

1. *ASM Handbook: Properties and selection: non-ferrous alloys and pure metals*, Vol. 2, ASTM INTERNATIONAL, 1979, pp. 164–165.
2. *ASM Handbook: Casting*, Vol. 15, ASTM INTERNATIONAL, 1979, pp. 1622–1697.
3. *Handbook of Aluminum: Physical Metallurgy and Processes*, Vol. 1, Chapter 12, Marcel Dekker, Elsevier, USA, 2003, pp. 591 – 642.
4. Randolph, K. J., “Aluminum Structures”, *A Guide to Their Specifications and Design*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., USA, 2002, pp. 13 – 23.
5. Ravi, K.R., “Fluidity of aluminum alloys and composites”, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 456, 2008, pp. 201 - 210.
6. Zolotarevsky V. S., Belov N. A. and Glazoff M. V., *Casting Aluminum Alloys*, Chapter 5, Elsevier Ltd., UK, 2007, pp. 327 – 396.
7. King F., “*El aluminio y sus aleaciones*”; Editorial Limusa, 1992, p.p. 107 – 110.
8. McParland A.J., “*Fluidity and Macrosegretation in Al-Si Alloys*”, Solidification Processing Conference, Sheffield, U.K., 1987, p.p. 323 – 326.
9. F. R., Mollard, M. C. Flemings, E. Niyama, H. F. Taylor, “*Mold Variables Influence on Fluidity of Aluminum*”; AFS Transactions, 1961, p.p. 566 – 576.
10. J. Jorstad, “*Aluminum Casting Technology*”, AFS 2nd, 1993, p.p. 353.
11. *Enciclopedia del Aluminio*, Volumen 4, URMO 1974.

12. Premium Compounds (2012). The industry leader Jacksonlea. Disponible en: http://www.jacksonlea.com/products_compounds_premeta.html... [2012, 18 de Marzo]
13. Pewter Mexicano (2012). Pewter, Plaque and Talavare. Disponible en: <http://www.pewtermex.com.mx/quienessomos.asp...> [2012, 20 de Mayo].
14. Fabricación de Joyería de Pweter (2012). Biblioteca Ybarra. Disponible en: http://www.raulybarra.com/notijoya/archivosnotijoya6/6pewter_fundicion_joyeria.htm [2012, 18 de Mayo]
15. Esterina de Palma Hidrogenada (2005). c.i.HGT S.A. Disponible en: <http://www.hgtsa.com/productos/otros-productos...> [2012, 17 de Julio].

Anexos.

Anexo 1. Ejemplos de Balances de Carga.

A continuación se ejemplifican dos balances de carga, ambos para fabricar 200Kg de aleación. El primer balance se realizó para fabricar una aleación con relación de Fe/Cu 1:2 y el segundo balance se realizó para fabricar para que la aleación contuviera 0.2% de Ni y una relación de Fe/Cu 1:2.

Ejemplo de un balance de Cu para una carga de 200Kg:

Ejemplo de un balance de carga para fabricar 200Kg de aleación con una relación de Fe/Cu 1:2.

$$\%Cu = 0.391 \quad \%Fe = 0.322$$

[El contenido de Cu será el doble que el contenido de Fe. Ejemplo: 0.3% Fe → 0.6%Cu]

→Requerido (Req.):

$$(200Kg) \left(\frac{0.644}{100} \right) = 1.288 \text{ Kg de Cu}$$

- ✓ Sí el contenido de Fe es 0.322% se requiere 0.644% de Cu.
- ✓ EJEMPLO DE CALCULO:

$$\left(\frac{0.644}{100} \right) = 0.644/100 = 0.00644Kg$$

$$(200Kg)(0.00644Kg) = (200Kg) \times (0.00644Kg) = 1.288Kg$$

→Chatarra 1 (CH1):

$$(200Kg) \left(\frac{0.391}{100} \right) = 0.782 Kg \text{ de Cu}$$

→Relación de cargas:

$$\text{Requerido} = \text{Chatarra 1} + \text{Carga de Cu}$$

$$\text{Carga de Cu} = \text{Requerido} - \text{Chatarra 1}$$

→Solución:

$$Cu = Req. - CH1$$

$$Cu = 1.288Kg - 0.782Kg = 0.506Kg$$

$$Cu = (0.506Kg) \left(\frac{1000g}{1Kg} \right) = 506g$$

$$\textbf{Contenido de Cu} = \textbf{506g}$$

$$200000g [\text{Carga total}] - 506g [\text{Contenido de Cu}] =$$

$$\textbf{199494g} [\text{Aleación Metalart}]$$

→Por lo que se utilizaran 506g de Cu y 199494g de aleación 356.2Ma que dan un total de 200000g de aleación (200Kg).

Ejemplo de un balance de Ni para una carga de 200Kg:

En este apartado se ejemplifica un balance de carga para fabricar 200Kg de aleación con 0.2% de Ni y una relación de Fe/Cu 1:2.

$$\text{Ni} = 0.033\%$$

[Se modificara el contenido de Ni en la aleación para que este sea del 0.2% y el contenido de Cu será el doble que el contenido de Fe]

→Requerido (Req.):

$$(200Kg) \left(\frac{0.2}{100} \right) = 0.4 \text{ Kg de Ni}$$

DATOS:

CH1 = Aleación Metalart

CH2 = Contenido de Ni con 99.95% de pureza

→Relación de cargas:

$$200Kg = \text{Aporte Chatarra 1} + \text{Aporte Chatarra 2}$$

$$\text{Chatarra 1} = (200Kg - \text{Chatarra 2})$$

→Solución:

$$\text{Req.} = \text{ACH1} + \text{ACH2}$$

$$0.4Kg = (200Kg - \text{CH2}) \left(\frac{0.033}{100} \right) + \text{CH2} \left(\frac{99.95}{100} \right)$$

$$0.4Kg = (200Kg) \left(\frac{0.033}{100} \right) - \text{CH2} \left(\frac{0.033}{100} \right) + \text{CH2} \left(\frac{99.95}{100} \right)$$

✓ Aquí se realizaron tres operaciones:

$$\left(\frac{0.033}{100}\right) = 0.033/100 = 0.00033Kg$$

$$(200Kg)(0.00033Kg) = (200Kg) \times (0.00033Kg) = 0.066Kg$$

$$99.95 - 0.033 = 99.917$$

$$0.4Kg = (0.066Kg) + CH2\left(\frac{99.917}{100}\right)$$

✓ Enseguida se realizo la siguiente operación:

$$\left(\frac{99.917}{100}\right) = 99.917/100 = 0.99917Kg$$

$$0.4Kg - 0.066Kg = CH2(0.99917)$$

$$0.334Kg = CH2(0.99917)$$

$$\frac{0.334Kg}{0.99917} = CH2$$

$$CH2 = 0.3342Kg$$

$$CH2 = (0.3342Kg) \left(\frac{1000g}{1Kg}\right) = 334.27g$$

$$CH2 = 334.27g = \text{Contenido de Ni}$$

$$\text{Contenido de Niquel} = 334.27g$$

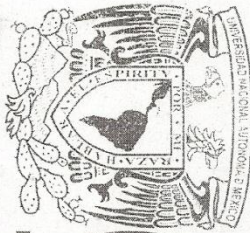
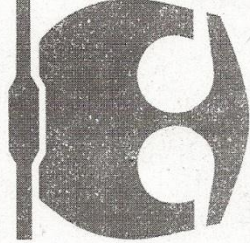
$$200000g [\text{Carga total}] - 506g [\text{Contenido de Cu}] - 334.27g [\text{Contenido de Ni}]$$

$$= 199494g [\text{Aleación Metalart}]$$

→Por lo que se utilizaran 506g de Cu, 334.27g de Ni y 199159.73g de aleación que dan un total de 200000g de aleación (200Kg).

Anexo 2. Evaluación del Experto Pulidor de METALART a las piezas fabricadas en la UNAM.

- Evaluación de las piezas con relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.

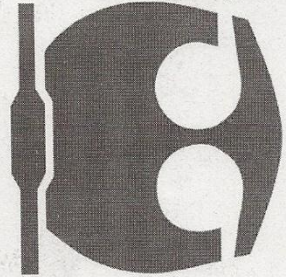
Tesis:
"Efecto de la relación Fe/Cu y el contenido de Ni en la dureza y abrillantado de piezas de aluminio coladas en molde de arena en verde".

Por:
JORGE LUIS ROJAS DÍAZ
Responsable DIM-FQ-UNAM:
Dr. José Alejandro García Hinojosa
Departamento de Ingeniería Metalúrgica.
Área de fundición y Materiales.

| Pieza | Relación Fe/Cu | | Contenido de Ni | Dureza | | | Pieza más dura | Comentario | Respuesta al pulido | | | Pieza con más brillo | Comentario | Brillo | | | Pieza con mayor respuesta al abrillantado | Comentario | |
|-------|----------------|----|-----------------|--------|-------|------|----------------|------------|---------------------|-------|------|----------------------|------------|--------|-------|------|---|------------|--|
| | Fe | Cu | | Alta | Medio | Baja | | | Alto | Medio | Bajo | | | Alto | Medio | Baja | | | |
| 2 | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | | 1 | | | | |
| 3 | | | | 1 | | | X | | | 1 | | | | | 1 | | | | |

La pieza 2 es mas facil el pulido y muestra menos problemas de fundición
 La pieza 3 muestra mas brillo pero cumple mas el pulido
 La pieza 3 se pulir con mas dureza cumpliendo el proceso de pul.
 La pieza 2 fluyo el proceso mas facil terminarla y muestra un acabado mas fino

- Evaluación de las piezas con 0.2% de Ni y relaciones de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.



Tesis:

“Efecto de la relación Fe/Cu y el contenido de Ni en la dureza y abrillantado de piezas de aluminio coladas en molde de arena en verde”.

respuesta

Por:
 JORGE LUIS ROJAS DÍAZ
 Responsable DIM-FQ-UNAM:
 Dr. José Alejandro García Hinojosa
 Departamento de Ingeniería Metalúrgica.
 Área de fundición y Materiales.

Brillo

| Grupo | Pieza | Relación Fe/Cu | | Contenido de Ni | Dureza | | | Pieza más dura | Comentario | Brillo | | | Pieza con más brillo | Comentario | Respuesta al abrillantado | | | Pieza con mayor respuesta al abrillantado | Comentario | |
|-------|-------|----------------|----|-----------------|--------|-------|------|----------------|-------------------------------------|--------|-------|------|----------------------|------------|---------------------------|-------|------|---|------------|--|
| | | Fe | Cu | | Alta | Media | Baja | | | Alto | Medio | Bajo | | | Alta | Media | Baja | | | |
| MMA | A | 1 | 1 | 0 | | | | | (Eutectico) No se observa cua | | | | | | | | | | | |
| | B | 1 | 1 | 0.2 | 1-1 | | | 11 | | | | | | | | | | | | |
| | C | 1 | 2 | 0.2 | | 11 | | | | | | | | | | | | | | |
| A | D | 1 | 3 | 0.2 | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| | E | 1 | 1 | 0.4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | F | 1 | 2 | 0.4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | G | 1 | 3 | 0.4 | | | | | | | | | | | | | | | | |


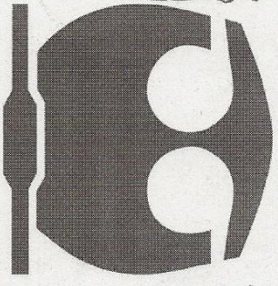
Comentarios:

La pieza C- se observa un mejor acabado y nuevos problemas de fundición ofreciendo un mejor aspecto.

La pieza C- muestra nuevos problemas de fundición mostrando un aspecto superior agradable en cuanto a brillo y acabado en general.

Muestra una elegancia de primer nivel.

- Evaluación de las piezas con 0.4% de Ni y relación de Fe/Cu 1:1, 1:2 y 1:3.

Testis:
"Efecto de la relación Fe/Cu y el contenido de Ni en la dureza y abrillantado de piezas de aluminio coladas en molde de arena en verde".

Por:
JORGE LUIS ROJAS DÍAZ
Responsable DIM-FQ-UNAM:
Dr. José Alejandro García Hinojosa
Departamento de Ingeniería Metalúrgica.
Área de fundición y Materiales.

Respuesta al

Brillo

| Grupo | Pieza | Relación | | Contenido de Ni | Dureza | | | Pieza más dura | Comentario | Brillo | | | Pieza con más brillo | Comentario | Respuesta al abrillantado | | | Pieza con mayor respuesta al abrillantado | Comentario | | |
|-------|-------|----------|----|-----------------|--------|-------|------|----------------|------------|--------|-------|------|----------------------|------------|---------------------------|-------|------|---|------------|--|--|
| | | Fe | Cu | | Alta | Media | Baja | | | Alto | Medio | Bajo | | | Alta | Media | Baja | | | | |
| MMA | A | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | B | 1 | 1 | 0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | C | 1 | 2 | 0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| A | D | 1 | 3 | 0.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | E | 1 | 1 | 0.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | F | 1 | 2 | 0.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | G | 1 | 3 | 0.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Comentarios:

F y G una dureza similar
En el acabado espejo F
muestra una ventaja
con respecto a E y G
F un acabado precioso

Anexo 3. Composición Química de la Liga Metálica Al - 4%Ni.

| | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Program: AL-011 | | | | | | 02/08/2012 12:34:16 PM | | | |
| Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL | | | | | | | | | |
| Single spark(s) | | | | | | Elements: Concentration | | | |
| Muestra No.: PRELIMINAR 1 (A. LIGA 4.0% Ni) | | | | | | Quality: | | | |
| Usuario: JORGE ROJAS | | | | | | Analista: MEN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO | | | |
| Comentarios: TESIS LICENCIATURA | | | | | | | | | |

| No | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Cr | Pb |
|----|--------|--------|--------|-------|--------|---------|-------|--------|---------|
| | % | % | % | % | % | % | % | % | % |
| 1 | 0.4174 | 0.4987 | 0.0597 | 1.018 | 0.0058 | <0.0050 | 4.153 | 0.0024 | <0.0020 |
| 2 | 0.4060 | 0.4814 | 0.0576 | 1.017 | 0.0057 | <0.0050 | 3.931 | 0.0025 | <0.0020 |
| 3 | 0.4088 | 0.4812 | 0.0573 | 1.022 | 0.0060 | <0.0050 | 3.912 | 0.0024 | <0.0020 |

| No | Ti | V | Co | Sr | Al |
|----|--------|--------|---------|--------|------|
| | % | % | % | % | % |
| 1 | 0.0168 | 0.0130 | <0.0020 | 0.0003 | 93.8 |
| 2 | 0.0174 | 0.0132 | <0.0020 | 0.0003 | 94.1 |
| 3 | 0.0174 | 0.0132 | <0.0020 | 0.0003 | 94.1 |

| | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Program: AL-011 | | | | | | 02/08/2012 12:34:16 PM | | | |
| Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL | | | | | | | | | |
| Average (n=3) | | | | | | Elements: Concentration | | | |
| Muestra No.: PRELIMINAR 1 (A. LIGA 4.0% Ni) | | | | | | Quality: | | | |
| Usuario: JORGE ROJAS | | | | | | Analista: MEN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO | | | |
| Comentarios: TESIS LICENCIATURA | | | | | | | | | |

| | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Cr | Pb |
|---|--------|--------|--------|-------|--------|---------|-------|--------|---------|
| | % | % | % | % | % | % | % | % | % |
| - | | | | | | | | | |
| x | 0.4108 | 0.4871 | 0.0582 | 1.019 | 0.0058 | <0.0050 | 3.999 | 0.0024 | <0.0020 |

| | Ti | V | Co | Sr | Al |
|---|--------|--------|---------|--------|------|
| | % | % | % | % | % |
| - | | | | | |
| x | 0.0172 | 0.0132 | <0.0020 | 0.0003 | 94.0 |

Anexo 4. Composición Química de las piezas fabricadas en la UNAM.

- Composición Química de la carga de 10 Kg con que se contaba en el Laboratorio de Fundición de la Facultad de Química para realizar las primeras pruebas y, que además se utilizó para fabricar las piezas con relación de Fe/Cu 1:1.

| Program: AL-011 | | | | | | | | | | 09/22/2011 12:30:53 PM |
|--|--------|--------|---------|--------|--|--------|--------|--------|--------|-------------------------|
| Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL | | | | | | | | | | |
| Single spark(s) | | | | | | | | | | Elements: Concentration |
| Muestra No.: MUESTRA 2 (ALEACION Al) | | | | | Quality: | | | | | |
| Usuario: JORGE ROJAS | | | | | Analista: M EN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO | | | | | |
| Comentarios: PROYECTO (METALART) | | | | | | | | | | |
| No | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Cr | Pb | |
| | % | % | % | % | % | % | % | % | % | |
| 1 | 5.82 | 0.4614 | 0.3664 | 0.0342 | 0.0491 | 0.0174 | 0.0066 | 0.0144 | 0.0025 | |
| 2 | 5.80 | 0.3113 | 0.3708 | 0.0338 | 0.0490 | 0.0195 | 0.0078 | 0.0170 | 0.0030 | |
| 3 | 5.74 | 0.2702 | 0.3592 | 0.0330 | 0.0484 | 0.0189 | 0.0047 | 0.0134 | 0.0028 | |
| No | Ti | V | Co | Sr | Al | | | | | |
| | % | % | % | % | % | | | | | |
| 1 | 0.1438 | 0.0068 | <0.0020 | 0.0002 | 93.1 | | | | | |
| 2 | 0.1465 | 0.0068 | <0.0020 | 0.0002 | 93.2 | | | | | |
| 3 | 0.1459 | 0.0069 | <0.0020 | 0.0002 | 93.4 | | | | | |
| Program: AL-011 | | | | | | | | | | 09/22/2011 12:30:53 PM |
| Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL | | | | | | | | | | |
| Average (n=3) | | | | | | | | | | Elements: Concentration |
| Muestra No.: MUESTRA 2 (ALEACION Al) | | | | | Quality: | | | | | |
| Usuario: JORGE ROJAS | | | | | Analista: M EN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO | | | | | |
| Comentarios: PROYECTO (METALART) | | | | | | | | | | |
| | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Cr | Pb | |
| - | % | % | % | % | % | % | % | % | % | |
| x | 5.79 | 0.3476 | 0.3655 | 0.0337 | 0.0489 | 0.0186 | 0.0064 | 0.0149 | 0.0028 | |
| | Ti | V | Co | Sr | Al | | | | | |
| - | % | % | % | % | % | | | | | |
| x | 0.1454 | 0.0068 | <0.0020 | 0.0002 | 93.2 | | | | | |

- Composición Química de las piezas fabricadas con una relación de Fe/Cu 1:2.

Program: AL-011

11/14/2011 07:37:45 PM

Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL

Single spark(s)

Elements: Concentration

Muestra No.: Al-Cu (1:2)

Quality:

Usuario: JORGE ROJAS

Analista: M EN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO

Comentarios: MATERIA: PROYECTO

| No | Si % | Fe % | Cu % | Mn % | Mg % | Zn % | Ni % | Cr % | Pb % |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 5.91 | 0.2831 | 0.696 | 0.0341 | 0.0337 | 0.0186 | 0.0064 | 0.0171 | 0.0026 |
| 2 | 5.85 | 0.2746 | 0.689 | 0.0336 | 0.0322 | 0.0168 | 0.0074 | 0.0170 | 0.0024 |
| 3 | 5.87 | 0.2702 | 0.690 | 0.0335 | 0.0327 | 0.0175 | 0.0063 | 0.0169 | 0.0025 |

| No | Ti % | V % | Co % | Sr % | Al % |
|----|---------|--------|---------|---------|---------|
| 1 | 0.1486 | 0.0068 | <0.0020 | 0.0002 | 92.8 |
| 2 | 0.1460 | 0.0063 | <0.0020 | 0.0002 | 92.9 |
| 3 | 0.1466 | 0.0065 | <0.0020 | 0.0002 | 92.9 |

Program: AL-011

11/14/2011 07:37:45 PM

Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL

Average (n=3)

Elements: Concentration

Muestra No.: Al-Cu (1:2)

Quality:

Usuario: JORGE ROJAS

Analista: M EN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO

Comentarios: MATERIA: PROYECTO

| | Si % | Fe % | Cu % | Mn % | Mg % | Zn % | Ni % | Cr % | Pb % |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| - x | 5.88 | 0.2760 | 0.692 | 0.0338 | 0.0328 | 0.0176 | 0.0067 | 0.0170 | 0.0025 |

| | Ti % | V % | Co % | Sr % | Al % |
|--------|---------|--------|---------|---------|---------|
| - x | 0.1471 | 0.0065 | <0.0020 | 0.0002 | 92.9 |

- Composición Química de las piezas fabricadas con una relación de Fe/Cu 1:3.

Program: AL-011

11/14/2011 07:33:01 PM

Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL

Single spark(s)

Elements: Concentration

Muestra No.: Al-Cu (1:3)

Quality:

Usuario: JORGE ROJAS

Analista: MEN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO

Comentarios: MATERIA: PROYECTO

| No | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Cr | Pb |
|----|------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | % | % | % | % | % | % | % | % | % |
| 1 | 5.70 | 0.2867 | 1.061 | 0.0347 | 0.0082 | 0.0168 | 0.0075 | 0.0190 | 0.0027 |
| 2 | 5.77 | 0.2848 | 1.066 | 0.0343 | 0.0076 | 0.0171 | 0.0073 | 0.0188 | 0.0026 |
| 3 | 5.77 | 0.2829 | 1.066 | 0.0345 | 0.0076 | 0.0169 | 0.0075 | 0.0189 | 0.0026 |

| No | Ti | V | Co | Sr | Al |
|----|--------|--------|---------|--------|------|
| | % | % | % | % | % |
| 1 | 0.1472 | 0.0067 | <0.0020 | 0.0002 | 92.7 |
| 2 | 0.1462 | 0.0066 | <0.0020 | 0.0002 | 92.6 |
| 3 | 0.1454 | 0.0064 | <0.0020 | 0.0002 | 92.6 |

Program: AL-011

11/14/2011 07:33:01 PM

Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL

Average (n=3)

Elements: Concentration

Muestra No.: Al-Cu (1:3)

Quality:

Usuario: JORGE ROJAS

Analista: MEN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO

Comentarios: MATERIA: PROYECTO

| | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Cr | Pb |
|-----------|------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | % | % | % | % | % | % | % | % | % |
| \bar{x} | 5.75 | 0.2848 | 1.064 | 0.0345 | 0.0078 | 0.0169 | 0.0075 | 0.0189 | 0.0026 |

| | Ti | V | Co | Sr | Al |
|-----------|--------|--------|---------|--------|------|
| | % | % | % | % | % |
| \bar{x} | 0.1463 | 0.0065 | <0.0020 | 0.0002 | 92.7 |

- Composición Química de la carga de 60 Kg con que se contaba en el Laboratorio de Fundición de la Facultad de Química para realizar la segunda parte de las pruebas.

| Program: AL-011 | | | | | | | | | | 01/30/2012 12:49:38 PM |
|--|--------|--------|---------|--------|--|--------|--------|--------|--------|-------------------------|
| Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL | | | | | | | | | | |
| Single spark(s) | | | | | | | | | | Elements: Concentration |
| Muestra No.: METALART (COMP. QUIM. HOMOGENE | | | | | Quality: | | | | | |
| Usuario: JORGE ROJAS-JULIO RAMOS | | | | | Analista: MEN I AGUSTIN G. RUIZ TAMAYO | | | | | |
| Comentarios: PROYECTO-TESIS | | | | | | | | | | |
| No | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Cr | Pb | |
| | % | % | % | % | % | % | % | % | % | |
| 1 | 5.74 | 0.2948 | 0.4328 | 0.0446 | 0.0866 | 0.0273 | 0.0138 | 0.0074 | 0.0052 | |
| 2 | 5.78 | 0.2862 | 0.3943 | 0.0428 | 0.0839 | 0.0270 | 0.0124 | 0.0073 | 0.0049 | |
| 3 | 5.81 | 0.2895 | 0.4250 | 0.0435 | 0.0878 | 0.0270 | 0.0135 | 0.0077 | 0.0054 | |
| 4 | 5.81 | 0.2917 | 0.4355 | 0.0442 | 0.0871 | 0.0262 | 0.0133 | 0.0072 | 0.0053 | |
| 5 | 5.72 | 0.2862 | 0.4135 | 0.0421 | 0.0855 | 0.0268 | 0.0121 | 0.0067 | 0.0051 | |
| 6 | 5.76 | 0.3133 | 0.4465 | 0.0449 | 0.0901 | 0.0273 | 0.0138 | 0.0071 | 0.0057 | |
| 7 | 6.00 | 0.3061 | 0.4377 | 0.0430 | 0.0863 | 0.0268 | 0.0136 | 0.0078 | 0.0055 | |
| 8 | 5.71 | 0.3077 | 0.4342 | 0.0447 | 0.0863 | 0.0292 | 0.0136 | 0.0074 | 0.0058 | |
| 9 | 5.77 | 0.3003 | 0.4325 | 0.0434 | 0.0883 | 0.0272 | 0.0129 | 0.0070 | 0.0056 | |
| 10 | 5.68 | 0.3020 | 0.4446 | 0.0452 | 0.0890 | 0.0269 | 0.0135 | 0.0072 | 0.0057 | |
| No | Ti | V | Co | Sr | Al | | | | | |
| | % | % | % | % | % | | | | | |
| 1 | 0.1466 | 0.0088 | <0.0020 | 0.0002 | 93.2 | | | | | |
| 2 | 0.1444 | 0.0086 | <0.0020 | 0.0002 | 93.2 | | | | | |
| 3 | 0.1412 | 0.0080 | <0.0020 | 0.0002 | 93.1 | | | | | |
| 4 | 0.1442 | 0.0083 | <0.0020 | 0.0001 | 93.1 | | | | | |
| 5 | 0.1402 | 0.0076 | <0.0020 | 0.0001 | 93.2 | | | | | |
| 6 | 0.1447 | 0.0084 | <0.0020 | 0.0002 | 93.1 | | | | | |
| 7 | 0.1449 | 0.0081 | <0.0020 | 0.0001 | 92.9 | | | | | |
| 8 | 0.1462 | 0.0085 | <0.0020 | 0.0002 | 93.2 | | | | | |
| 9 | 0.1410 | 0.0079 | <0.0020 | 0.0001 | 93.2 | | | | | |
| 10 | 0.1447 | 0.0083 | <0.0020 | 0.0001 | 93.2 | | | | | |
| Program: AL-011 | | | | | | | | | | 01/30/2012 12:49:38 PM |
| Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL | | | | | | | | | | |
| Average (n=10) | | | | | | | | | | Elements: Concentration |
| Muestra No.: METALART (COMP. QUIM. HOMOGENE | | | | | Quality: | | | | | |
| Usuario: JORGE ROJAS-JULIO RAMOS | | | | | Analista: MEN I AGUSTIN G. RUIZ TAMAYO | | | | | |
| Comentarios: PROYECTO-TESIS | | | | | | | | | | |
| | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Cr | Pb | |
| | % | % | % | % | % | % | % | % | % | |
| \bar{x} | 5.78 | 0.2978 | 0.4297 | 0.0439 | 0.0871 | 0.0272 | 0.0133 | 0.0073 | 0.0054 | |
| | Ti | V | Co | Sr | Al | | | | | |
| | % | % | % | % | % | | | | | |
| \bar{x} | 0.1438 | 0.0083 | <0.0020 | 0.0002 | 93.2 | | | | | |

- Composición Química de las piezas fabricadas con una relación de Fe/Cu 1:1 y con 0.2% de Ni.

| | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|---|--|--|
| <i>Program: AL-011</i> | | | | | | | <i>02/03/2012 09:20:45 AM</i> | | |
| <i>Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL</i> | | | | | | | | | |
| <i>Single spark(s)</i> | | | | | | | <i>Elements: Concentration</i> | | |
| <i>Muestra No.: C.Q. (Al-0.2Ni)</i> | | | | | | | <i>Quality:</i> | | |
| <i>Usuario: JORGE ROJAS</i> | | | | | | | <i>Analista: M EN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO</i> | | |
| <i>Comentarios: TESIS LICENCIATURA</i> | | | | | | | | | |

| <i>No</i> | <i>Si</i> | <i>Fe</i> | <i>Cu</i> | <i>Mn</i> | <i>Mg</i> | <i>Zn</i> | <i>Ni</i> | <i>Cr</i> | <i>Pb</i> |
|-----------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> |
| <i>1</i> | <i>4.934</i> | <i>0.4773</i> | <i>0.4262</i> | <i>0.0767</i> | <i>0.0725</i> | <i>0.0246</i> | <i>0.2163</i> | <i>0.0063</i> | <i>0.0050</i> |
| <i>2</i> | <i>5.11</i> | <i>0.4525</i> | <i>0.4011</i> | <i>0.0754</i> | <i>0.0699</i> | <i>0.0235</i> | <i>0.2002</i> | <i>0.0063</i> | <i>0.0047</i> |
| <i>3</i> | <i>4.935</i> | <i>0.4806</i> | <i>0.4135</i> | <i>0.0761</i> | <i>0.0710</i> | <i>0.0253</i> | <i>0.2067</i> | <i>0.0065</i> | <i>0.0049</i> |

| <i>No</i> | <i>Ti</i> | <i>V</i> | <i>Co</i> | <i>Sr</i> | <i>Al</i> |
|-----------|---------------|---------------|-------------------|---------------|-------------|
| | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> |
| <i>1</i> | <i>0.1220</i> | <i>0.0073</i> | <i><0.0020</i> | <i>0.0001</i> | <i>93.6</i> |
| <i>2</i> | <i>0.1255</i> | <i>0.0077</i> | <i><0.0020</i> | <i>0.0002</i> | <i>93.5</i> |
| <i>3</i> | <i>0.1262</i> | <i>0.0077</i> | <i><0.0020</i> | <i>0.0002</i> | <i>93.6</i> |

| | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|---|--|--|
| <i>Program: AL-011</i> | | | | | | | <i>02/03/2012 09:20:45 AM</i> | | |
| <i>Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL</i> | | | | | | | | | |
| <i>Average (n=3)</i> | | | | | | | <i>Elements: Concentration</i> | | |
| <i>Muestra No.: C.Q. (Al-0.2Ni)</i> | | | | | | | <i>Quality:</i> | | |
| <i>Usuario: JORGE ROJAS</i> | | | | | | | <i>Analista: M EN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO</i> | | |
| <i>Comentarios: TESIS LICENCIATURA</i> | | | | | | | | | |

| | <i>Si</i> | <i>Fe</i> | <i>Cu</i> | <i>Mn</i> | <i>Mg</i> | <i>Zn</i> | <i>Ni</i> | <i>Cr</i> | <i>Pb</i> |
|-----------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> |
| <i>-x</i> | <i>4.994</i> | <i>0.4701</i> | <i>0.4136</i> | <i>0.0761</i> | <i>0.0711</i> | <i>0.0245</i> | <i>0.2077</i> | <i>0.0064</i> | <i>0.0049</i> |

| | <i>Ti</i> | <i>V</i> | <i>Co</i> | <i>Sr</i> | <i>Al</i> |
|-----------|---------------|---------------|-------------------|---------------|-------------|
| | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> | <i>%</i> |
| <i>-x</i> | <i>0.1246</i> | <i>0.0075</i> | <i><0.0020</i> | <i>0.0002</i> | <i>93.6</i> |

- Composición Química de las piezas fabricadas con una relación de Fe/Cu 1:2 y con 0.2% de Ni.

Program: AL-011

02/03/2012 01:46:45 PM

Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL

Single spark(s)

Elements: Concentration

Muestra No.: MUESTRA Al (0.2 Ni-0.8 Cu)

Quality:

Usuario: JORGE ROJAS

Analista: M EN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO

Comentarios: TESIS LICENCIATURA

| No | Si % | Fe % | Cu % | Mn % | Mg % | Zn % | Ni % | Cr % | Pb % |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 5.00 | 0.4630 | 0.925 | 0.0748 | 0.0620 | 0.0248 | 0.2002 | 0.0064 | 0.0050 |
| 2 | 5.05 | 0.4681 | 0.935 | 0.0756 | 0.0617 | 0.0261 | 0.2031 | 0.0065 | 0.0050 |
| 3 | 5.05 | 0.4630 | 0.912 | 0.0748 | 0.0706 | 0.0282 | 0.1984 | 0.0065 | 0.0051 |

| No | Ti % | V % | Co % | Sr % | Al % |
|----|---------|--------|---------|---------|---------|
| 1 | 0.1209 | 0.0077 | <0.0020 | 0.0001 | 93.1 |
| 2 | 0.1225 | 0.0080 | <0.0020 | 0.0001 | 93.0 |
| 3 | 0.1219 | 0.0080 | <0.0020 | 0.0002 | 93.1 |

Program: AL-011

02/03/2012 01:46:45 PM

Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL

Average (n=3)

Elements: Concentration

Muestra No.: MUESTRA Al (0.2 Ni-0.8 Cu)

Quality:

Usuario: JORGE ROJAS

Analista: M EN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO

Comentarios: TESIS LICENCIATURA

| | Si % | Fe % | Cu % | Mn % | Mg % | Zn % | Ni % | Cr % | Pb % |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| x | 5.04 | 0.4647 | 0.924 | 0.0751 | 0.0648 | 0.0264 | 0.2005 | 0.0065 | 0.0050 |

| | Ti % | V % | Co % | Sr % | Al % |
|---|---------|--------|---------|---------|---------|
| x | 0.1218 | 0.0079 | <0.0020 | 0.0002 | 93.1 |

- Composición Química de las piezas fabricadas con una relación de Fe/Cu 1:3 y con 0.2% de Ni.

Program: AL-011

02/03/2012 03:58:49 PM

Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL

Single spark(s)

Elements: Concentration

Muestra No.: MUESTRA Al(0.2Ni-1.2Cu)

Quality:

Usuario: JORGE ROJAS

Analista: M. EN I. AGUSTIN G RUIZ TAMAYO

Comentarios: TESIS LICENCIATURA

| No | Si % | Fe % | Cu % | Mn % | Mg % | Zn % | Ni % | Cr % | Pb % |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 5.10 | 0.4519 | 1.224 | 0.0742 | 0.0562 | 0.0236 | 0.1961 | 0.0064 | 0.0045 |
| 2 | 5.09 | 0.4555 | 1.209 | 0.0759 | 0.0560 | 0.0245 | 0.1952 | 0.0066 | 0.0044 |
| 3 | 5.08 | 0.4574 | 1.214 | 0.0757 | 0.0554 | 0.0239 | 0.1962 | 0.0066 | 0.0045 |
| 4 | 5.01 | 0.4490 | 1.198 | 0.0761 | 0.0542 | 0.0238 | 0.1948 | 0.0067 | 0.0044 |

| No | Ti % | V % | Co % | Sr % | Al % |
|----|---------|--------|---------|---------|---------|
| 1 | 0.1197 | 0.0079 | <0.0020 | 0.0001 | 92.7 |
| 2 | 0.1220 | 0.0082 | <0.0020 | 0.0002 | 92.8 |
| 3 | 0.1239 | 0.0084 | <0.0020 | 0.0002 | 92.7 |
| 4 | 0.1243 | 0.0084 | <0.0020 | 0.0002 | 92.8 |

Program: AL-011

02/03/2012 03:58:49 PM

Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL

Average (n=4)

Elements: Concentration

Muestra No.: MUESTRA Al(0.2Ni-1.2Cu)

Quality:

Usuario: JORGE ROJAS

Analista: M. EN I. AGUSTIN G RUIZ TAMAYO

Comentarios: TESIS LICENCIATURA

| | Si % | Fe % | Cu % | Mn % | Mg % | Zn % | Ni % | Cr % | Pb % |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| - | | | | | | | | | |
| x | 5.07 | 0.4534 | 1.211 | 0.0755 | 0.0554 | 0.0239 | 0.1956 | 0.0066 | 0.0044 |

| | Ti % | V % | Co % | Sr % | Al % |
|---|---------|--------|---------|---------|---------|
| - | | | | | |
| x | 0.1225 | 0.0082 | <0.0020 | 0.0002 | 92.8 |

- Composición Química de las piezas fabricadas con una relación de Fe/Cu 1:1 y con 0.4% de Ni.

Program: AL-011

02/08/2012 05:36:21 PM

Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL

Elements: Concentration

Single spark(s)

Muestra No.: CQFINAL (0.4% Ni, Cu:Fe; 1:1)

Quality:

Usuario: JORGE ROJAS

Analista: M EN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO

Comentarios: TESIS LICENCIATURA

| No | Si % | Fe % | Cu % | Mn % | Mg % | Zn % | Ni % | Cr % | Pb % |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 5.50 | 0.3233 | 0.4035 | 0.1441 | 0.0454 | 0.0430 | 0.3919 | 0.0074 | 0.0063 |
| 2 | 5.36 | 0.3052 | 0.3888 | 0.1467 | 0.0423 | 0.0263 | 0.3813 | 0.0078 | 0.0049 |
| 3 | 5.36 | 0.3171 | 0.4047 | 0.1500 | 0.0424 | 0.0237 | 0.4012 | 0.0079 | 0.0049 |

| No | Ti % | V % | Co % | Sr % | Al % |
|----|---------|--------|---------|---------|---------|
| 1 | 0.1253 | 0.0080 | <0.0020 | 0.0002 | 93.0 |
| 2 | 0.1313 | 0.0089 | <0.0020 | 0.0002 | 93.2 |
| 3 | 0.1316 | 0.0089 | <0.0020 | 0.0002 | 93.2 |

Program: AL-011

02/08/2012 05:36:21 PM

Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL

Elements: Concentration

Average (n=3)

Muestra No.: CQFINAL (0.4% Ni, Cu:Fe; 1:1)

Quality:

Usuario: JORGE ROJAS

Analista: M EN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO

Comentarios: TESIS LICENCIATURA

| | Si % | Fe % | Cu % | Mn % | Mg % | Zn % | Ni % | Cr % | Pb % |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| \bar{x} | 5.41 | 0.3152 | 0.3990 | 0.1469 | 0.0434 | 0.0310 | 0.3915 | 0.0077 | 0.0054 |

| | Ti % | V % | Co % | Sr % | Al % |
|-----------|---------|--------|---------|---------|---------|
| \bar{x} | 0.1294 | 0.0086 | <0.0020 | 0.0002 | 93.1 |

- Composición Química de las piezas fabricadas con una relación de Fe/Cu 1:2 y con 0.4% de Ni.

Program: AL-011

02/09/2012 11:26:01 AM

Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL

Single spark(s)

Elements: Concentration

Muestra No.: PREL 1 (1Fe:2Cu, 0.4 Ni)

Quality:

Usuario: JORGE ROJAS

Analista: M EN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO

Comentarios: TESIS DE LICENCIATURA

| No | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Cr | Pb |
|----|------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | % | % | % | % | % | % | % | % | % |
| 1 | 5.21 | 0.3202 | 0.793 | 0.1512 | 0.0221 | 0.0237 | 0.4020 | 0.0068 | 0.0054 |
| 2 | 5.16 | 0.3213 | 0.798 | 0.1524 | 0.0220 | 0.0241 | 0.4041 | 0.0068 | 0.0054 |
| 3 | 5.23 | 0.3180 | 0.797 | 0.1516 | 0.0221 | 0.0240 | 0.4003 | 0.0068 | 0.0054 |

| No | Ti | V | Co | Sr | Al |
|----|--------|--------|---------|--------|------|
| | % | % | % | % | % |
| 1 | 0.1326 | 0.0088 | <0.0020 | 0.0002 | 92.9 |
| 2 | 0.1313 | 0.0087 | <0.0020 | 0.0002 | 93.0 |
| 3 | 0.1313 | 0.0087 | <0.0020 | 0.0002 | 92.9 |

Program: AL-011

02/09/2012 11:26:01 AM

Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL

Average (n=3)

Elements: Concentration

Muestra No.: PREL 1 (1Fe:2Cu, 0.4 Ni)

Quality:

Usuario: JORGE ROJAS

Analista: M EN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO

Comentarios: TESIS DE LICENCIATURA

| | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Zn | Ni | Cr | Pb |
|-----------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | % | % | % | % | % | % | % | % | % |
| \bar{x} | 5.20 | 0.3198 | 0.796 | 0.1517 | 0.0221 | 0.0239 | 0.4021 | 0.0068 | 0.0054 |
| | Ti | V | Co | Sr | Al | | | | |
| | % | % | % | % | % | | | | |
| \bar{x} | 0.1317 | 0.0087 | <0.0020 | 0.0002 | 92.9 | | | | |

- Composición Química de las piezas fabricadas con una relación de Fe/Cu 1:3 y con 0.4% de Ni.

Program: AL-011

02/09/2012 03:30:55 PM

Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL

Single spark(s)

Elements: Concentration

Muestra No.: CQF (1Fe:3Cu, 0.4 Ni)

Quality:

Usuario: JORGE ROJAS

Analista: M EN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO

Comentarios: TESIS LICENCIATURA

| No | Si % | Fe % | Cu % | Mn % | Mg % | Zn % | Ni % | Cr % | Pb % |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 5.19 | 0.3279 | 0.947 | 0.1613 | 0.0214 | 0.0374 | 0.4362 | 0.0065 | 0.0059 |
| 2 | 5.13 | 0.3124 | 0.925 | 0.1633 | 0.0207 | 0.0334 | 0.4286 | 0.0066 | 0.0054 |
| 3 | 5.11 | 0.3098 | 0.918 | 0.1618 | 0.0205 | 0.0240 | 0.4286 | 0.0065 | 0.0048 |

| No | Ti % | V % | Co % | Sr % | Al % |
|----|---------|--------|---------|---------|---------|
| 1 | 0.1274 | 0.0085 | <0.0020 | 0.0002 | 92.7 |
| 2 | 0.1244 | 0.0085 | <0.0020 | 0.0002 | 92.8 |
| 3 | 0.1275 | 0.0087 | <0.0020 | 0.0002 | 92.9 |

Program: AL-011

02/09/2012 03:30:55 PM

Comment: FACULTAD DE QUIMICA UNAM TRABAJO GLOBAL

Average (n=3)

Elements: Concentration

Muestra No.: CQF (1Fe:3Cu, 0.4 Ni)

Quality:

Usuario: JORGE ROJAS

Analista: M EN I AGUSTIN G RUIZ TAMAYO

Comentarios: TESIS LICENCIATURA

| | Si % | Fe % | Cu % | Mn % | Mg % | Zn % | Ni % | Cr % | Pb % |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| \bar{x} | 5.14 | 0.3167 | 0.930 | 0.1621 | 0.0209 | 0.0316 | 0.4311 | 0.0066 | 0.0054 |

| | Ti % | V % | Co % | Sr % | Al % |
|-----------|---------|--------|---------|---------|---------|
| \bar{x} | 0.1264 | 0.0086 | <0.0020 | 0.0002 | 92.8 |

Anexo 5. Composición Química de las piezas fabricadas en la METALART.

- Composición Química de las piezas fabricadas con una relación de Fe/Cu 1:2.

Program: AI-01-D
 Comment: AI-Global
 Single spark(s)

METALART

02/29/2012 07:10:49 F

Elements: Concentratio

NUMERO: 1,2,3,4

CALIDAD: 356-M

NOMBRE: PRUEBA DE COBRE

CLIENTE: MARIPOSA

| No | Si % | Fe % | Cu % | Mn % | Mg % | Cr % | Ni % | Zn % | Ti % |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 6.08 | 0.306 | 0.60 | 0.040 | 0.062 | 0.0066 | 0.032 | 0.025 | 0.107 |
| 2 | 6.11 | 0.300 | 0.61 | 0.040 | 0.063 | 0.0066 | 0.033 | 0.024 | 0.105 |
| 3 | 6.36 | 0.317 | 0.61 | 0.040 | 0.063 | 0.0066 | 0.034 | 0.022 | 0.104 |
| 4 | 6.18 | 0.308 | 0.60 | 0.041 | 0.064 | 0.0066 | 0.033 | 0.024 | 0.105 |

| No | Ag % | B % | Be % | Bi % | Ca % | Co % | Li % | Na % | Pb % |
|----|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | <0.0001 | 0.0010 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0005 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0006 | 0.012 |
| 2 | <0.0001 | 0.0009 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0010 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0007 | 0.013 |
| 3 | <0.0001 | 0.0009 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0042 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0033 | 0.012 |
| 4 | <0.0001 | 0.0011 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0011 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0007 | 0.012 |

| No | Sn % | Sr % | V % | Zr % | Al % | Cd % |
|----|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| 1 | 0.0025 | <0.0001 | 0.0068 | 0.0042 | 92.7 | <0.0001 |
| 2 | 0.0022 | <0.0001 | 0.0067 | 0.0042 | 92.7 | <0.0001 |
| 3 | 0.0021 | <0.0001 | 0.0067 | 0.0041 | 92.4 | <0.0001 |
| 4 | 0.0028 | <0.0001 | 0.0067 | 0.0042 | 92.6 | <0.0001 |

Program: AI-01-D
 Comment: AI-Global
 Average (n=4)

METALART

02/29/2012 07:10:49 F

Elements: Concentratio

NUMERO: 1,2,3,4

CALIDAD: 356-M

NOMBRE: PRUEBA DE COBRE

CLIENTE: MARIPOSA

| | Si+ % | Fe- % | Cu+ % | Mn % | Mg- % | Cr % | Ni % | Zn % | Ti- % |
|---|----------|----------|----------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|
| ↓ | 5.00 | 0.380 | 0.300 | 0.0000 | 0.200 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.150 |
| x | 6.18 | 0.308 | 0.60 | 0.040 | 0.063 | 0.0066 | 0.033 | 0.024 | 0.105 |
| ↑ | 6.00 | 0.450 | 0.50 | 0.100 | 0.250 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.200 |

| | Ag % | B % | Be % | Bi % | Ca % | Co % | Li % | Na % | Pb % |
|---|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ↓ | | | | | | | | | 0.0000 |
| x | <0.0001 | 0.0010 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0017 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0013 | 0.012 |
| ↑ | | | | | | | | | 0.100 |

| | Sn % | Sr % | V % | Zr % | Al % | Cd % |
|---|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| ↓ | | | | | | |
| x | 0.0024 | <0.0001 | 0.0067 | 0.0042 | 92.6 | <0.0001 |
| ↑ | | | | | | |

- Composición Química de las piezas fabricadas con una relación de Fe/Cu 1:2 y con 0.2% de Ni.

Program: AI-01-D
Comment: AI-Global
Single spark(s)

03/14/2012 07:18:46 P

METALART

Elements: Concentrator

NUMERO: 1,2,3,4
NOMBRE: PRUEBA DE CU Y NI

CALIDAD: 356-M
CLIENTE: METALART

| No | Si % | Fe % | Cu % | Mn % | Mg % | Cr % | Ni % | Zn % | Ti % |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 6.35 | 0.317 | 0.62 | 0.063 | 0.066 | 0.0090 | 0.199 | 0.026 | 0.099 |
| 2 | 6.41 | 0.312 | 0.62 | 0.063 | 0.066 | 0.0089 | 0.201 | 0.026 | 0.099 |
| 3 | 6.24 | 0.313 | 0.63 | 0.063 | 0.065 | 0.0089 | 0.200 | 0.026 | 0.098 |
| 4 | 6.42 | 0.322 | 0.63 | 0.065 | 0.067 | 0.0091 | 0.202 | 0.027 | 0.095 |

| No | Ag % | B % | Be % | Bi % | Ca % | Co % | Li % | Na % | Pb % |
|----|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | <0.0001 | 0.0007 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0004 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0005 | 0.012 |
| 2 | <0.0001 | 0.0007 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0005 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0007 | 0.013 |
| 3 | <0.0001 | 0.0007 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0006 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0008 | 0.012 |
| 4 | <0.0001 | 0.0007 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0003 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0004 | 0.012 |

| No | Sn % | Sr % | V % | Zr % | Al % | Cd % |
|----|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| 1 | 0.0024 | <0.0001 | 0.0067 | 0.0042 | 92.2 | <0.0001 |
| 2 | 0.0025 | <0.0001 | 0.0067 | 0.0041 | 92.2 | <0.0001 |
| 3 | 0.0022 | <0.0001 | 0.0069 | 0.0058 | 92.3 | <0.0001 |
| 4 | 0.0027 | <0.0001 | 0.0067 | 0.0041 | 92.1 | <0.0001 |

Program: AI-01-D
Comment: AI-Global
Average (n=4)

03/14/2012 07:18:46 P

METALART

Elements: Concentrator

NUMERO: 1,2,3,4
NOMBRE: PRUEBA DE CU Y NI

CALIDAD: 356-M
CLIENTE: METALART

| | Si+ % | Fe- % | Cu+ % | Mn % | Mg- % | Cr % | Ni+ % | Zn % | Ti- % |
|---|----------|----------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| ↓ | 5.00 | 0.380 | 0.300 | 0.0000 | 0.200 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.150 |
| x | 6.35 | 0.316 | 0.63 | 0.063 | 0.066 | 0.0090 | 0.200 | 0.026 | 0.098 |
| ↑ | 6.00 | 0.450 | 0.50 | 0.100 | 0.250 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.200 |

| | Ag % | B % | Be % | Bi % | Ca % | Co % | Li % | Na % | Pb % |
|---|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ↓ | | | | | | | | | 0.0000 |
| x | <0.0001 | 0.0007 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0005 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0006 | 0.012 |
| ↑ | | | | | | | | | 0.100 |

| | Sn % | Sr % | V % | Zr % | Al % | Cd % |
|---|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| ↓ | | | | | | |
| x | 0.0024 | <0.0001 | 0.0068 | 0.0045 | 92.2 | <0.0001 |
| ↑ | | | | | | |

- Composición Química de las piezas fabricadas con una relación de Fe/Cu 1:2 y con 0.26% de Ni.

Program: AI-01-D
 Comment: AI-Global
 Single spark(s)

METALART

03/21/2012 06:27:39 P
 Elements: Concentrati

NUMERO: PRUEBA DE CU Y NI 21/03/12
 NOMBRE: METALART

CALIDAD: 356-M
 CLIENTE: METALART

| No | Si % | Fe % | Cu % | Mn % | Mg % | Cr % | Ni % | Zn % | Ti % |
|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 6.08 | 0.315 | 0.60 | 0.064 | 0.071 | 0.012 | 0.258 | 0.040 | 0.105 |
| 2 | 5.99 | 0.319 | 0.59 | 0.065 | 0.070 | 0.013 | 0.258 | 0.039 | 0.111 |
| 3 | 6.18 | 0.324 | 0.60 | 0.066 | 0.073 | 0.013 | 0.263 | 0.039 | 0.103 |
| 4 | 6.15 | 0.338 | 0.61 | 0.069 | 0.073 | 0.013 | 0.269 | 0.039 | 0.104 |
| 5 | 6.17 | 0.330 | 0.59 | 0.067 | 0.071 | 0.013 | 0.256 | 0.040 | 0.105 |

| No | Ag % | B % | Be % | Bi % | Ca % | Co % | Li % | Na % | Pb % |
|----|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | <0.0001 | 0.0007 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0010 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0007 | 0.010 |
| 2 | <0.0001 | 0.0008 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0019 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0020 | 0.0096 |
| 3 | <0.0001 | 0.0006 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0012 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0008 | 0.011 |
| 4 | <0.0001 | 0.0009 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0012 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0008 | 0.010 |
| 5 | <0.0001 | 0.0007 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0007 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0004 | 0.010 |

| No | Sn % | Sr % | V % | Zr % | Al % | Cd % |
|----|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| 1 | 0.0030 | <0.0001 | 0.0071 | 0.0043 | 92.4 | <0.0001 |
| 2 | 0.0025 | <0.0001 | 0.0074 | 0.0043 | 92.5 | <0.0001 |
| 3 | 0.0026 | <0.0001 | 0.0071 | 0.0043 | 92.3 | <0.0001 |
| 4 | 0.0022 | <0.0001 | 0.0073 | 0.0044 | 92.3 | <0.0001 |
| 5 | 0.0030 | <0.0001 | 0.0072 | 0.0044 | 92.3 | <0.0001 |

Program: AI-01-D
 Comment: AI-Global
 Average (n=5)

METALART

03/21/2012 06:27:39 P
 Elements: Concentrati

NUMERO: PRUEBA DE CU Y NI 21/03/12
 NOMBRE: METALART

CALIDAD: 356-M
 CLIENTE: METALART

| | Si+ % | Fe- % | Cu+ % | Mn % | Mg- % | Cr % | Ni+ % | Zn % | Ti- % |
|---|----------|----------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| ↓ | 5.00 | 0.380 | 0.300 | 0.0000 | 0.200 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.150 |
| x | 6.11 | 0.325 | 0.60 | 0.066 | 0.072 | 0.013 | 0.261 | 0.039 | 0.106 |
| ↑ | 6.00 | 0.450 | 0.50 | 0.100 | 0.250 | 0.100 | 0.100 | 0.100 | 0.200 |

| | Ag % | B % | Be % | Bi % | Ca % | Co % | Li % | Na % | Pb % |
|---|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ↓ | <0.0001 | 0.0007 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0012 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0009 | 0.0000 |
| x | <0.0001 | 0.0007 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0012 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0009 | 0.010 |
| ↑ | <0.0001 | 0.0007 | <0.0001 | <0.0010 | 0.0012 | <0.0010 | <0.0002 | 0.0009 | 0.100 |

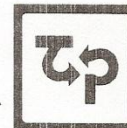
| | Sn % | Sr % | V % | Zr % | Al % | Cd % |
|---|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| ↓ | 0.0027 | <0.0001 | 0.0072 | 0.0043 | 92.4 | <0.0001 |
| x | 0.0027 | <0.0001 | 0.0072 | 0.0043 | 92.4 | <0.0001 |
| ↑ | 0.0027 | <0.0001 | 0.0072 | 0.0043 | 92.4 | <0.0001 |

Anexo 6. Composición Química del Ni electrolítico que se adquirió para hacer las Pruebas en METALART.

Tel.: (222) 285 0572 / 73
Fax ext.: 108

Av. Hidalgo 105
Correo Electrónico: Contacto@TransformacionPuebla.com
San Pedro Cholula, Puebla, México
C.P. 72760

**TRANSFORMACION
PUEBLA S.A. DE C.V.**



San Pedro Cholula, Puebla a 12 de Marzo del 2012.

METALURGICA ARTESANAL, S.A. DE C.V.
Eje norte N°11, Cd. Industrial Xicohtencatl, Tetla, Tlaxcala.
Remisión: 7021

Por medio de la presente le envío Análisis Químico de los siguientes materiales:

ANÁLISIS QUÍMICO

| | | Ni | C | Co | Cu | Fe | O | S | -- |
|----------------------|-----------|---------|---------|------|----------|---------|----------|----------|----|
| | Debe ser: | | | | | | | | |
| Material | | | | | | | | | |
| Níquel electrolítico | 1 Kg. | 99.95 % | 0.017 % | 0.1% | 0.0001 % | 0.002 % | 0.0063 % | 0.0002 % | |

Esperando que esta información sea de su utilidad, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración sobre el particular.

ATENTAMENTE.

Abraham Anguiano Ortega
COORDINADOR DE LABORATORIO