

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**EVALUACION DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDICION EN
ESPECTROMETRO DE CHISPA PARA LA IMPLEMENTACION
NORMA ISO 17025**

ESTUDIO INTERLABORATORIO

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

CARLOS JONATHAN BETANCOURT MACHOA

carlos.betancourt@epn.edu.ec

DIRECTOR: OSCAR EFRAIN SOTOMAYOR GALVEZ

oscar.sotomayor@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2023

CERTIFICACIONES

Yo, CARLOS JONATHAN BETANCOURT MACHOA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



CARLOS JONATHAN BETANCOURT MACHOA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por CARLOS JONATHAN BETANCOURT MACHOA, bajo mi supervisión.



ING. OSCAR EFRAIN SOTOMAYOR GALVEZ M.S.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

CARLOS JONATHAN BETANCOURT MACHOA

ING. OSCAR EFRAIN SOTOMAYOR GALVEZ M.S.

DEDICATORIA

A Dios por ser mi fortaleza cuando pensé que no lo iba a lograr, a mi esposa e hijo por ser mi motivación para salir adelante y a mi familia por su todo su apoyo (Éxodo 15:2).

AGRADECIMIENTO

A mis padres, Carlos Betancourt y Carmen Machoa por todo su respaldo en mi vida estudiantil por cada sacrificio que tuvieron que hacer, de manera especial a mi madre por su buen ejemplo y apoyo sin medida.

A mis hermanas por sus consejos y por mostrarme el camino para alcanzar las metas, muchas gracias Katy por siempre ser exigente conmigo y por el apoyo económico de Pato y tuyo.

A mi esposa, Carolina por ser esa mujer sabia que Dios puso en mi camino y me acompañó en este proceso a pesar de todo.

A mi hijo, Sebastián por ser esa fuerza que me levanta todos los días.

A Don Freddy y Doña Anita por todos los permisos que me dieron cuando trabaje con ustedes y por el giro de 180 grados que le dieron a mi vida.

A mis amigos Hugo, Oscar, Stalin, Jessica, Víctor, Karina, Fabian, Sandra y todos los que me brindaron su amistad sincera, gracias por confiar siempre en mí.

Al Ing. Oscar Sotomayor por su paciencia, por todos los conocimientos impartidos y por haberme guiado a través de este proyecto.

Al Ing. Gustavo Huilca por responder todas mis dudas a lo largo de este proyecto.

A Sebastián Bonilla por su apoyo durante este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	IX
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos	1
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	2
Magnitud	2
Mensurando	2
Medición.....	2
Incertidumbre	2
Error de la medición	3
Error aleatorio.....	3
Error sistemático.....	3
Exactitud	3
Precisión	4
Conceptos estadísticos asociados a la dispersión	4
Media.....	4
Desviación estándar de una población	4
Desviación estándar muestral.....	4
Varianza de una población	5
Varianza de una muestra.....	5
Grados de libertad	6
Distribución Normal	6
Distribución F	7
Distribución t de Student	8
Estudios R & R.....	9
Análisis de varianza (ANOVA)	9

Prueba t de Student	11
Prueba t de Student para dos muestras dependientes emparejadas.....	12
Espectrometría	13
Onda.....	13
Longitud de onda	13
Frecuencia de una onda	13
Espectro electromagnético	13
Espectrometría de emisión óptica por chispa (OES).....	14
Espectrómetro de chispa Q2 ION.....	15
Norma ISO 17025:2017	16
Norma ASTM 1251 – 17a.....	17
Norma ASTM 716 – 16.....	17
2. METODOLOGÍA	17
2.1 Introducción.....	17
2.2 Equipos y Materiales.....	18
2.3 Procedimiento experimental	18
2.3.1 Preparación de las probetas	18
2.3.2 Procedimiento del ensayo	19
2.3.3 Procedimiento estadístico del estudio interlaboratorio	22
2.3.4 Procedimiento estadístico para determinar la incertidumbre del espectrómetro de chispa del Laboratorio de Fundición	27
3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	32
3.1 Tratamiento estadístico de los resultados del estudio interlaboratorio	32
3.1.1 Estudio interlaboratorio para evaluar la Hipótesis nula (H₀)	32
3.1.2 Resultados del estudio interlaboratorio	32
3.1.2.1 Prueba t de Student para el Aluminio (Al)	33
3.1.2.2 Prueba t de Student para el Silicio (Si).....	34
3.1.2.3 Prueba t de Student para el Magnesio (Mg).....	35
3.3.1.1 Prueba t de Student para el Hierro (Fe)	36
3.2 Tratamiento estadístico de los resultados del estudio de Repetitividad y Reproducibilidad	37
3.2.1 Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad	37
3.2.2 Resultados del estudio de Repetitividad y Reproducibilidad	38
3.2.2.1 Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad para el Aluminio (Al)	38
3.2.2.2 Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad para el Silicio (Si).....	39
3.2.2.3 Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad para el Magnesio (Mg)....	40
3.2.2.4 Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad para el Hierro (Fe)	41

3.3 Conclusiones	42
3.4 Recomendaciones	43
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
5. ANEXOS	47
5.1 Anexo I. Datos para el estudio interlaboratorio	47
5.2 Anexo II. Datos para el estudio R & R (repetitividad y reproducibilidad) .	73

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto es la evaluación de la incertidumbre en el espectrómetro de chispa perteneciente al Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional esto se lo realizará con estudios de repetitividad y reproducibilidad, y específicamente en esta tesis se desarrollará el componente de estudio interlaboratorio. El objetivo final es que a futuro se pueda implementar procedimientos enmarcados en la norma ISO 17025.

Para el desarrollo de la parte teórica se realizó una investigación bibliográfica a fin de elegir un método estadístico acorde a las necesidades de una prueba interlaboratorio, además para aplicar de manera correcta los conceptos estadísticos necesarios para un adecuado tratamiento de los datos obtenidos.

Se estableció el método a usar juntamente con los parámetros requeridos para el desarrollo experimental y estadístico a fin de evaluar la incertidumbre en los espectrómetros de chispa de cada laboratorio.

Para la espectrometría se escogió un eje de una aleación de aluminio, el cual fue maquinado para obtener las probetas, con las cuales se desarrolló el estudio interlaboratorio con el Departamento de metalurgia extractiva de la Escuela Politécnica Nacional (DEMEX).

Finalmente, con los datos obtenidos de ambos laboratorios se realizaron los cálculos estadísticos para dar cumplimiento con los objetivos propuestos.

PALABRAS CLAVE: incertidumbre, espectrómetro de chispa, estudio interlaboratorio.

ABSTRACT

The objective of the present project is the evaluation of the uncertainty in the spark spectrometer of the Foundry Laboratory of the EPN, this will be done with repeatability and reproducibility studies, and specifically in this thesis the interlaboratory study component will be developed. The final objective is that in the future procedures framed in the ISO 17025 standard can be implemented.

For the development of the theoretical part, a bibliographical investigation was carried out to choose a statistical method according to the needs of an interlaboratory test, in addition to correctly applying the statistical concepts necessary for an adequate treatment of the data obtained.

The method to be used was established together with the parameters required for the experimental and statistical development to evaluate the uncertainty in the spark spectrometers of each laboratory.

For the spectrometry, an aluminum alloy shaft was chosen, which was machined to obtain the test tubes, with which the interlaboratory study was developed with the Extractive Metallurgy Department of EPN (DEMEX).

Finally, with the data obtained from both laboratories, statistical calculations were made to comply with the proposed objectives.

KEY WORDS: uncertainty, spark spectrometer, interlaboratory study.

1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

Debido a la futura necesidad de implementar la Norma ISO 17025 en el Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional para los ensayos realizados en el espectrómetro de chispa, el presente proyecto tiene como finalidad comparar la incertidumbre de las mediciones de dicho equipo con otros resultados proporcionados por laboratorios que presten servicios similares. Después de la respectiva investigación bibliográfica se determinó trabajar mediante el método estadístico de la prueba t, considerando un análisis de dos colas, de muestras emparejadas y un nivel de significancia $\alpha=0,05$, para lo cual se cuenta con cinco probetas de una aleación de aluminio debidamente preparadas en sus dos caras. Estas probetas fueron testeadas primeramente en el espectrómetro de chispa del Laboratorio de Fundición para determinar su composición química, se realizó cuatro chispazos en cada cara para tener una mayor cantidad de datos y poder analizar la muestra como una distribución normal, de igual manera se procedió en el laboratorio del Departamento de Metalurgia Extractiva (DEMEX). Los ensayos fueron desarrollados bajo el mayor cuidado y tomando en cuenta los procedimientos establecidos en cada laboratorio. Además, lo realizaron las personas a cargo de cada laboratorio que cuentan con amplia experiencia lo que garantiza la confiabilidad de los resultados. Cabe señalar que a la par se desarrolla el componente de análisis de repetitividad y reproducibilidad que será reportado en un trabajo de titulación paralelo al mostrado en el presente. Los dos resultados servirán para una estimación adecuada de la incertidumbre de medición en el espectrómetro del Laboratorio de Fundición. Una vez obtenidos los valores de la composición química de cada probeta se procedió a realizar los cálculos estadísticos necesarios a fin de comprobar si los valores obtenidos de las probetas en cada laboratorio son comparables o se los considera distintos, en términos estadísticos rechazar o fallar en rechazar la hipótesis nula. Esta prueba interlaboratorio también resultara de ayuda para la toma de decisiones sobre; los métodos de ensayo, correcto funcionamiento de los equipos y la necesidad de calibración.

1.1 Objetivo general

Estimar la incertidumbre de medida del espectrómetro de chispa Bruker Q2 ION del Laboratorio de Fundición de la Facultad de Ingeniería Mecánica en la Escuela Politécnica Nacional.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar una investigación bibliográfica relacionada a la incertidumbre, cálculo de incertidumbres y métodos estadísticos para una prueba interlaboratorio.

2. Desarrollar un procedimiento adecuado para el estudio interlaboratorio.
3. Evaluar los valores obtenidos de la composición química de las probetas en cada laboratorio para determinar si son semejantes o se los considera distintos.
4. Establecer las recomendaciones necesarias a fin de mejorar los ensayos con el espectrómetro de chispa Bruker Q2 ION.

1.3 Alcance

Encontrar un método estadístico para la evaluación de la incertidumbre del espectrómetro de chispa del Laboratorio de Fundición apoyándose en una prueba interlaboratorio realizada con probetas de aleación de aluminio, con el fin evaluar si los valores obtenidos entre cada laboratorio pertenecen a la misma población y establecer las recomendaciones pertinentes para el mejoramiento de los ensayos para la futura implementación de la norma ISO 17025.

1.4 Marco teórico

En esta parte del trabajo se establecerá los conceptos necesarios para que cualquier persona pueda replicar el estudio aquí realizado, se desarrollara conceptos de medición, estadística y espectrometría, necesarios para el completo entendimiento.

Magnitud

Atributo de los cuerpos que puede ser medido y puede representarse de manera cuantitativa para ser estudiado en el campo requerido [1]–[3].

Mensurando

Magnitud cuantitativa que se puede medir bajo un proceso adecuado [1]–[3].

Medición

Operaciones realizadas que tienen como finalidad obtener uno o varios valores correspondientes a una magnitud dada [1]–[3].

Incertidumbre

En la vida cotidiana, la incertidumbre se asocia generalmente al desconocimiento o duda con relación a cualquier aspecto, pero la incertidumbre que está relacionada con la medición de una magnitud no hace referencia a la duda respecto a la validez de la medición, sino la incertidumbre permite acrecentar el rango de confianza en el valor de la medición realizada.

Al necesitar una medición de cualquier magnitud existe una imposibilidad de obtener un valor único de un mensurando, ya que los valores obtenidos estarán dispersos con relación al valor real, el cual es indeterminado. Por lo cual se debe entender que la incertidumbre es un rango determinado de valores donde se considera con una alta probabilidad que se encuentra en valor real de la magnitud medida [4]–[7].

Error de la medición

El error de la medición por definición es la diferencia que existe entre el valor resultante de medir una magnitud determinada con respecto al valor verdadero.

Se debe tener claro que todas las medidas están condicionadas por múltiples factores que suceden durante el proceso, debido a esto el valor de una medición es una aproximación del valor verdadero, por lo cual se considera que el error es inherente a todo proceso de medición.

Al realizar una medición se pueden producir errores de manera aleatoria (error aleatorio) o errores que suceden de manera sistemática (error sistemático) [3], [7]–[9].

Error aleatorio

Este error varía de manera impredecible, lo que origina variaciones en los resultados de las mediciones por encima y por debajo del valor real, además no puede ser reducido mejorando el procedimiento de medida.

Si bien es imposible compensar el error aleatorio de una medición, este usualmente puede disminuir por tratamiento estadístico al incrementar el número de mediciones realizadas [4], [9].

Error sistemático

El error sistemático se mantiene invariable o varía de manera previsible, no puede ser eliminado, sin embargo, sí puede ser reducido. Los errores sistemáticos son producidos a una mala calibración del equipo, al uso incorrecto de fórmulas, al manejo inadecuado del equipo, descuido del operador.

Estos errores solo se pueden eliminar mediante un análisis del proceso bajo el acompañamiento de personal experto que detecte lo errado en el proceso [4], [9].

Exactitud

La exactitud es la correspondencia entre un valor aceptado como verdadero o referencial y un valor obtenido por medio de algún procedimiento de análisis [6], [10].

Precisión

La precisión se puede definir como la cercanía entre los valores obtenidos de algún proceso de medición sobre una misma magnitud [7], [8], [10].

Conceptos estadísticos asociados a la dispersión

Media

La media es lo que habitualmente se conoce como promedio. Se calcula mediante la suma de todos los valores con los que se está trabajando dividido para el número de valores que se consideró en el numerador [7], [11], [12] y está dada por la fórmula:

$$\mu = \frac{\sum x_i}{N}$$

Ecuación 1.1. Media

Donde:

x_i = resultado del mensurando

N = observaciones realizadas

Desviación estándar de una población

La desviación estándar es un valor estadístico referente a la dispersión de los datos en una población, si mayor es la dispersión mayor será la desviación [7], [11]. La desviación estándar de una población está dada por la fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}}$$

Ecuación 1.2. Desviación estándar [7], [11]

Donde:

σ = desviación estándar

x_i = resultado del mensurando

μ = media

N = observaciones realizadas

Desviación estándar muestral

La desviación estándar es un valor estadístico referente a la dispersión de los datos en una muestra [7], está dada por la fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 1.3. Desviación estándar muestral [7]

Donde:

S = desviación estándar muestral

x_i = valor de la medición

\bar{x} = media muestral

n = número de muestras

Varianza de una población

La varianza de una población es el promedio de los cuadrados de las desviaciones de las mediciones, además es un índice de la dispersión de una población [7], [11] y está dada por la fórmula:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \mu)^2}{N}$$

Ecuación 1.4. Varianza de una población [13]

Donde:

σ^2 = varianza de la población

x_i = resultado del mensurando

μ = media muestral

N = observaciones realizadas

Varianza de una muestra

La varianza de una muestra es un índice de la dispersión de una muestra que se basa en una desviación respecto al promedio [11] y está dada por la fórmula:

$$S^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Ecuación 1.5. Varianza de una muestra [13]

Donde:

S^2 = varianza de una muestra

x_i = resultado del mensurando

\bar{x} = media muestral

n = observaciones realizadas

Grados de libertad

Una noción de los grados de libertad se da si se supone que una persona tiene siete pantalones para usarlos en una semana, solo puede usar un pantalón diario y no puede usarlo nuevamente en la semana, así que el lunes escoge cualquiera de los siete, el martes escoge cualquiera de los seis restantes y así hasta llegar al domingo en el cual no tiene opción de escoger y debe vestirse con el pantalón que quedo, en este ejemplo los grados de libertad son seis. Por lo tanto, los grados de libertad son valores de una muestra que son libres de variar a pesar de una condición impuesta. [14].

Distribución Normal

Un gran número de fenómenos habituales como; el peso, talla, mediciones físicas, fenómenos de la naturaleza, experimentos científicos, calificaciones en exámenes presentan una distribución en forma de campana (curva normal), que en términos estadísticos se conoce como distribución normal, la cual es trascendental en el mundo de la estadística [13], [15], [16]. La función para la distribución normal esta por:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Ecuación 1.6. Función de la distribución normal [13]

En la figura 1.1 se muestra una distribución normal con una desviación estándar σ y media μ localizada en el centro de la distribución. Esta distribución es simétrica y el área bajo la curva es igual a uno [13].

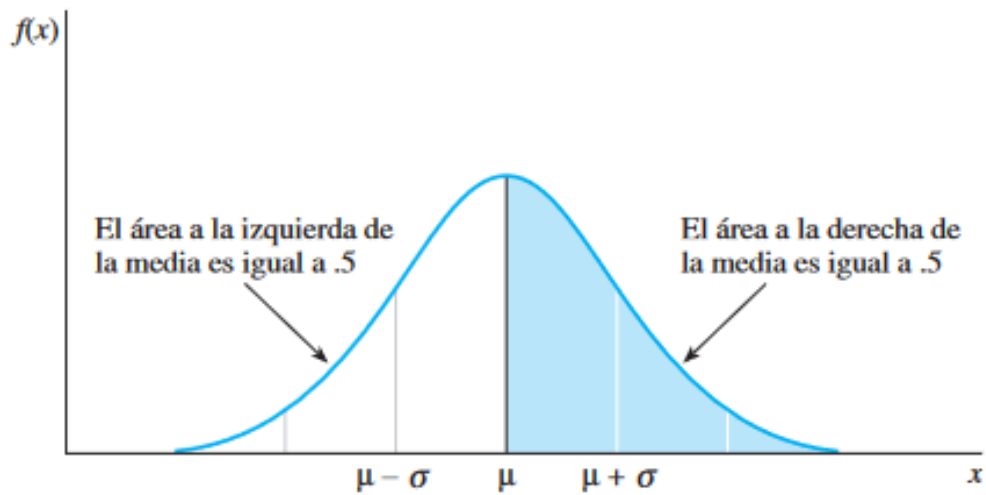


Figura 1.1. Distribución normal [13]

Distribución F

La distribución F está asociada al análisis de la varianza (ANOVA), su aplicación está ligada a la comparación de varianzas de dos o más muestras. El estadístico F está determinado por la razón de dos variables aleatorias j_i independientes al cuadrado (x_1 y x_2) dividida cada una entre sus grados de libertad (v_1 y v_2) [15], [16].

$$F = \frac{x_1/v_1}{x_2/v_2}$$

Ecuación 1.7. Estadístico F [15]

La función de la distribución F esta dad por:

$$h(f) = \frac{\Gamma\left[\left(v_1 + \frac{v_2}{2}\right)\right] \left(v_1/v_2\right)^{v_1/2}}{\Gamma(v_1/2)\Gamma(v_2/2)} \frac{f^{(v_1/2)-1}}{\left(1 + v_1 f/v_2\right)^{\frac{(v_1+v_2)}{2}}}$$

Ecuación 1.8. Función de la distribución F [16]

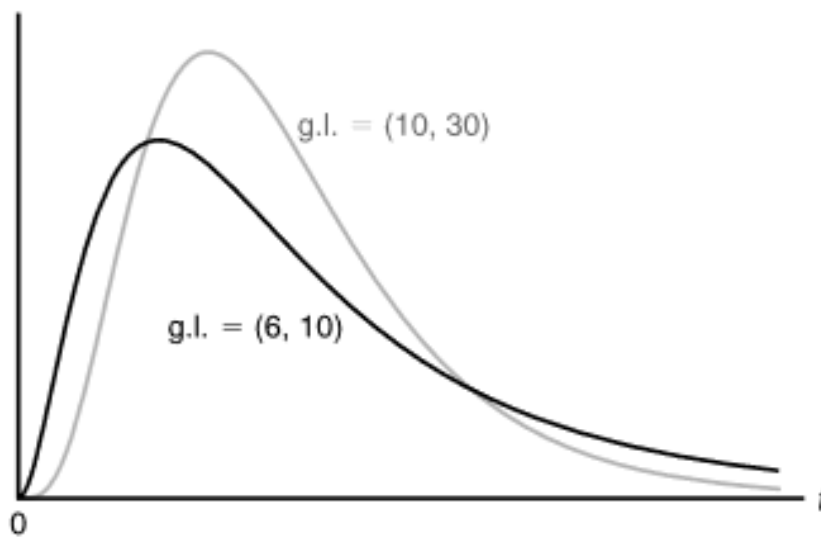


Figura 1.2. Distribución F [16]

Distribución t de Student

La distribución t de probabilidad se publicó en 1908 por W.S. Gosset, para evitar algunas prohibiciones de la época Gosset publicó su investigación con el nombre de “Student”, razón por la cual se conoce como distribución t de Student. Gosset desarrolló un método matemático para determinar una función de densidad que describa la distribución para tamaños muestrales pequeños [13], [16].

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

Ecuación 1.9. Función de la distribución t [13]

La distribución t de Student tiene las siguientes características:

- Tiene forma de campana y simétrica en torno a $t=0$.
- Su dispersión es mayor a la de la distribución normal.
- Conforme aumenta los grados de libertad la dispersión disminuye y tiende a una distribución normal [15].

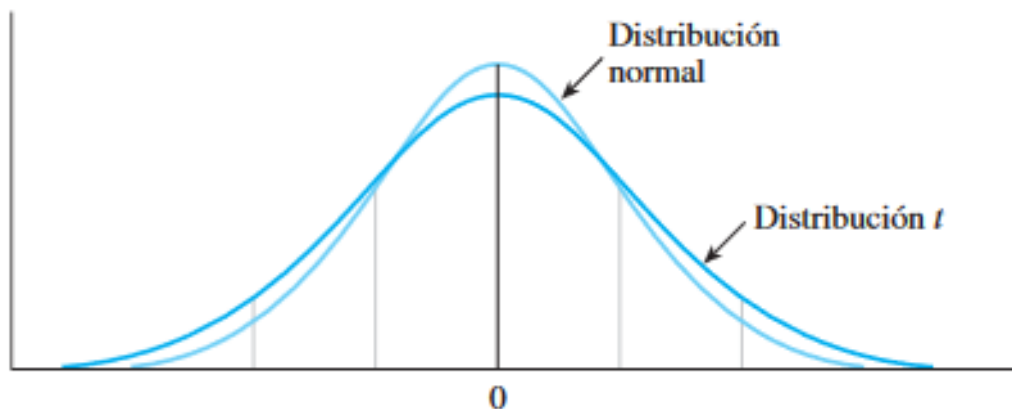


Figura 1.3. Comparación distribución normal y distribución t [13]

Estudios R & R

Los estudios R & R permiten evaluar la variación de las mediciones (repetitividad) y la variación de las mediciones ejecutadas por el operador (reproducibilidad) de manera experimental.

La repetitividad en un procedimiento de medición es la variación de los resultados cuando un operador mide la misma muestra por varias veces con el mismo instrumento y bajo un mismo procedimiento.

La reproducibilidad en un procedimiento de medición es la variación de los resultados cuando la misma muestra es medida varias veces bajo distintas condiciones, por ejemplo, diferentes operadores, diferentes instrumentos de medida, diferentes laboratorios, diferentes operadores [17], [18].

Análisis de varianza (ANOVA)

Un análisis de varianza (ANOVA) es un método estadístico que se utiliza con el fin de determinar la hipótesis de que las medias de dos o más muestras son iguales.

Para realizar el análisis de varianza se debe cumplir:

- Tener independencia, es decir las observaciones a analizarse deben ser seleccionadas aleatoriamente.
- Con un tamaño de la muestra de cada grupo menor del 10% de la población.
- Que la muestra tenga una distribución normal.
- La varianza dentro de las muestras debe ser aproximadamente igual entre ellos, ya que se considera que todas las observaciones son de la misma población [7], [13].

La secuencia del procedimiento para un análisis de varianza (ANOVA) es:

- Definir las hipótesis
- Definir el nivel de significancia
- Tomar la muestra y calcular la estadística
- Calcular la probabilidad de obtener esa estadística (asumiendo que es verdad la hipótesis nula)
- Si esa probabilidad es más baja que el nivel de significancia rechazamos la hipótesis nula lo que sugiere aceptar la hipótesis alternativa.

La hipótesis nula (H_0) será: no existe una diferencia significativa en las medias de las muestras (no se altera el statu quo). Hipótesis alternativa: existe una diferencia significativa en las medias de las muestras. Se utiliza un nivel de significancia estándar de 0,05.

El análisis ANOVA determina la dependencia entre las varianzas calculadas, a través de las diferencias cuadráticas existentes dentro de los grupos y entre los mismos. La suma de las diferencias cuadráticas con los diferentes grupos (SSB) mide el cambio entre las medias de los diferentes niveles o grupos, está dada por la fórmula:

$$SSB = \sum_{i=1}^q p * (\bar{x}_i - \bar{x})^2$$

Ecuación 1.10. SSB

Donde:

SSB = diferencia entre los cuadrados de los grupos

\bar{x}_i = medias muestrales de cada uno de los grupos

\bar{x} = media muestral

p = número de mediciones del grupo

q = número de grupos

Los grados de libertad para SSB es igual a q-1.

La suma de las diferencias cuadráticas en el grupo (SSW) determina la variabilidad de las diferencias entre las mediciones dentro de cada bloque, está dada por la formula:

$$SSW = \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$$

Ecuación 1.11. SSW

Donde:

SSW = suma de las diferencias cuadráticas en el grupo

x_{ij} = valores de cada muestra

Los grados de libertad para SSW es igual a n-q.

La suma de la diferencia de los cuadrados totales (SST) está dada por la fórmula:

$$SST = \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i - \bar{x})^2$$

Ecuación 1.12. SST

Los grados de la libertad para SST es igual a n-1.

Mediante análisis de la varianza (ANOVA) se determina el valor de F, el cual se compara con el valor de la tabla del nivel de significancia. La fórmula para el cálculo de F está dada por:

$$F = \frac{\frac{SSB}{q-1}}{\frac{SSW}{n-q}} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^q p * (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{q-1}}{\frac{\sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^p (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n-q}}$$

Ecuación 1.13. Estadística F

Con los valores de la estadística F, los grados de libertad de SSB y SSW se determina el valor de probabilidad p en tablas estadísticas o con la ayuda de un software. Si p es menor que el nivel de significancia se rechaza la hipótesis nula [7], [13], [19].

Prueba t de Student

La prueba t de Student es una herramienta estadística deductiva usada para determinar si existe un cambio estadísticamente significativo entre las medias de dos muestras a través de hipótesis. La prueba t puede ser usada para afirmar si una muestra difiere de un valor determinado, si dos muestras difieren entre sí o si hay un cambio significativo en medidas pareadas.

Para realizar una prueba t se asume que:

- Los datos deben ser tomados aleatoriamente
- Homogeneidad en la varianza
- La distribución de la muestra se considera normal

Para cualquier prueba t se debe, definir una hipótesis nula (H_0), una alternativa (H_a) y un valor de significancia.

La secuencia del procedimiento para determinar la prueba t es el siguiente:

- Definir las hipótesis
- Definir el nivel de significancia
- Tomar la muestra y calcular la estadística
- Calcular la probabilidad de obtener esa estadística (asumiendo que es verdad la hipótesis nula)
- Si esa probabilidad es más baja que el nivel de significancia rechazamos la hipótesis nula lo que sugiere aceptar la hipótesis alternativa [13], [15], [20].

Prueba t de Student para dos muestras dependientes emparejadas

Esta prueba se utiliza únicamente cuando:

- Las muestras son dependientes
- Cuando se tiene una muestra que ha sido testeada dos veces
- Si las dos muestras han sido emparejadas

La fórmula para el cálculo está dada por:

$$t = \frac{\bar{d} - \Delta_0}{s_D / \sqrt{n}}$$

Ecuación 1.14. Prueba t para dos muestras dependientes emparejadas [13]

Donde:

n = número de observaciones

\bar{d} = media de las diferencias muestrales

s_D = desviación estándar

Δ_0 = valor nulo ($u_1 - u_2 = 0$)

Con el valor de la prueba t y los grados de libertad $2(n-1)$ se determina el valor de probabilidad p en tablas estadísticas o con la ayuda de un software. Si p es menor que el nivel de significancia se rechaza la hipótesis nula [13], [15], [20].

Espectrometría

El análisis por espectrometría es uno de los métodos más usados para la identificación de elementos y compuestos en la naturaleza. Cuando una sustancia pasa por condiciones que incrementan la energía total de su sistema, para después eliminar esta perturbación exterior, el sistema retorna a su condición inicial, emitiendo esta energía extra en forma de radiación electromagnética. La espectrometría surgió de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia en función de la longitud de onda [21]–[23]. A continuación, se analizan algunos conceptos:

Onda

Una onda es una perturbación que se expande a partir del punto en que se originó hacia el medio que lo rodea [23], [24].

Longitud de onda

La longitud de onda (λ) es la distancia a la que se repite la forma de la onda, se puede considerar la distancia entre picos o entre valles [23], [24].

Frecuencia de una onda

La frecuencia de una onda (ν) es el número de máximos o mínimos que pasan por un punto fijo en un segundo [23], [24].

Espectro electromagnético

El espectro electromagnético es el intervalo de todos los tipos de energía (radiación) que viajan y se extienden a medida que se esparce la onda. Los diversos tipos de ondas electromagnéticas (luz, rayos X, rayos gamma, microondas, etc.) varían solo en su longitud de onda [22], [24].

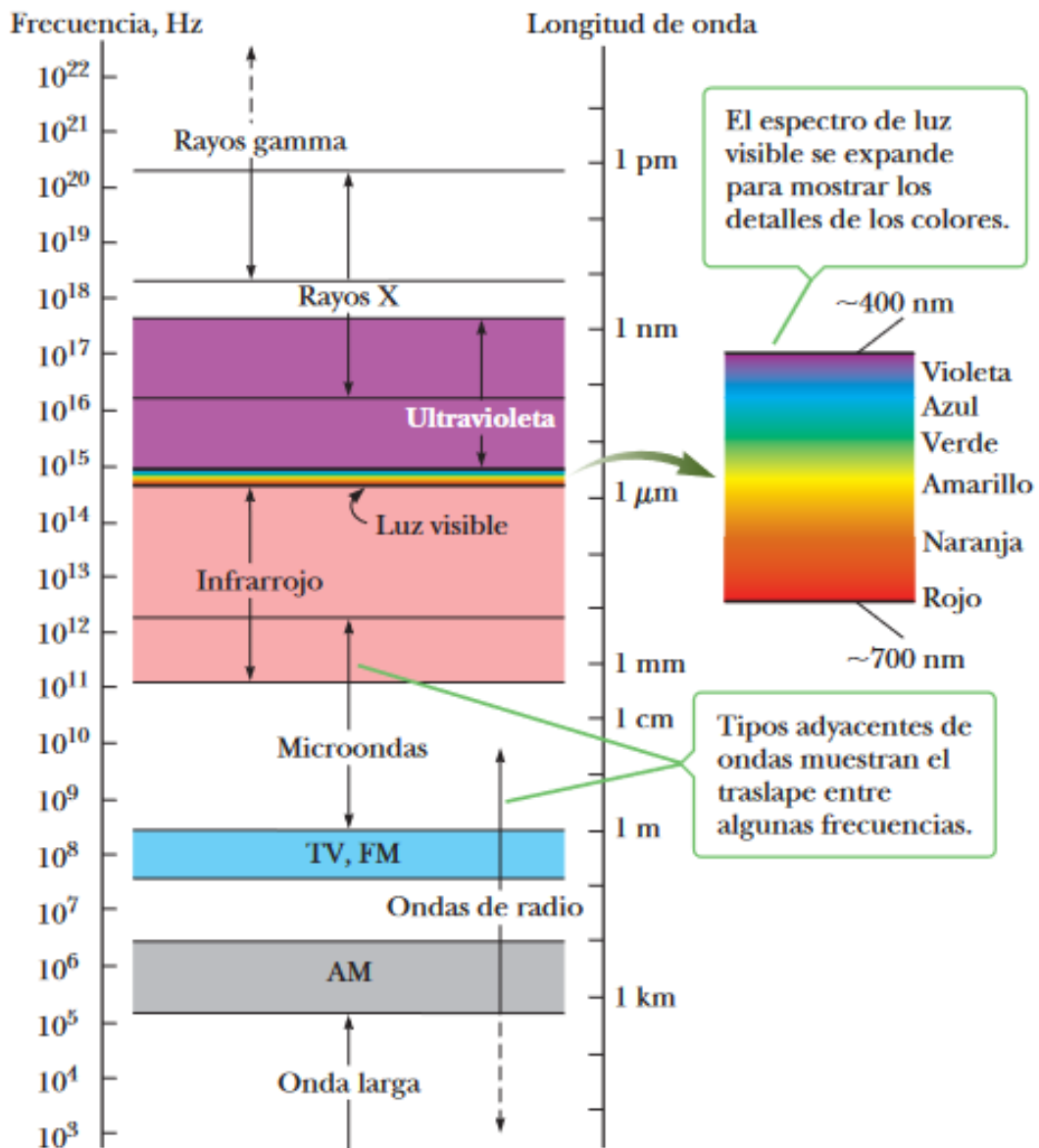


Figura 1.4. Espectro electromagnético [22]

Espectrometría de emisión óptica por chispa (OES)

Este tipo de espectrometría usa una chispa o arco eléctrico para estimular los átomos contenidos en una muestra, generalmente metálica debido a que los metales son buenos conductores eléctricos. Al aplicar un alto voltaje, los átomos son excitados, para después volver a su estado natural, durante lo cual emiten fotones de longitudes de onda definidas. Mediante un análisis óptico por medio una rejilla de difracción se obtienen las longitudes de onda correspondientes a los elementos específicos de la muestra, con lo cual un software realiza el análisis cualitativo y cuantitativo de la muestra de prueba.

Este método es muy utilizado en las industrias metalúrgicas para garantizar la calidad de sus productos. [24]–[26]

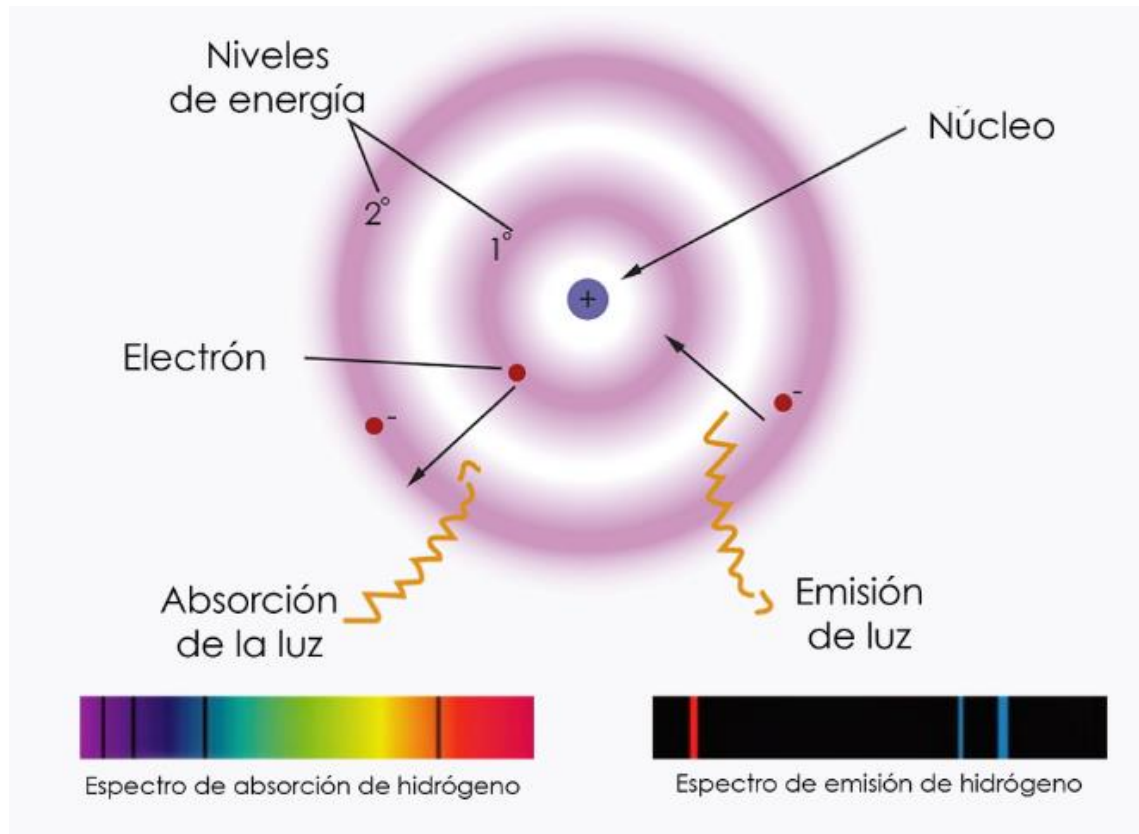


Figura 1.5. Espectrometría del Hidrogeno [26]

Espectrómetro de chispa Q2 ION

El espectrómetro de chispa Q2 ION es uno de los más pequeños y ligero disponible para análisis de metales. Su funcionamiento consiste en vaporizar la muestra mediante una descarga de chispa así los átomos (iones) liberados se excitan emitiendo una radiación de luz, la cual pasa a través de un canal de luz directa a un sistema óptico, donde se dispersa y se analiza la longitud de onda para determinar cualitativa y cuantitativamente los elementos a través del software Elemental Suite [27], [28].

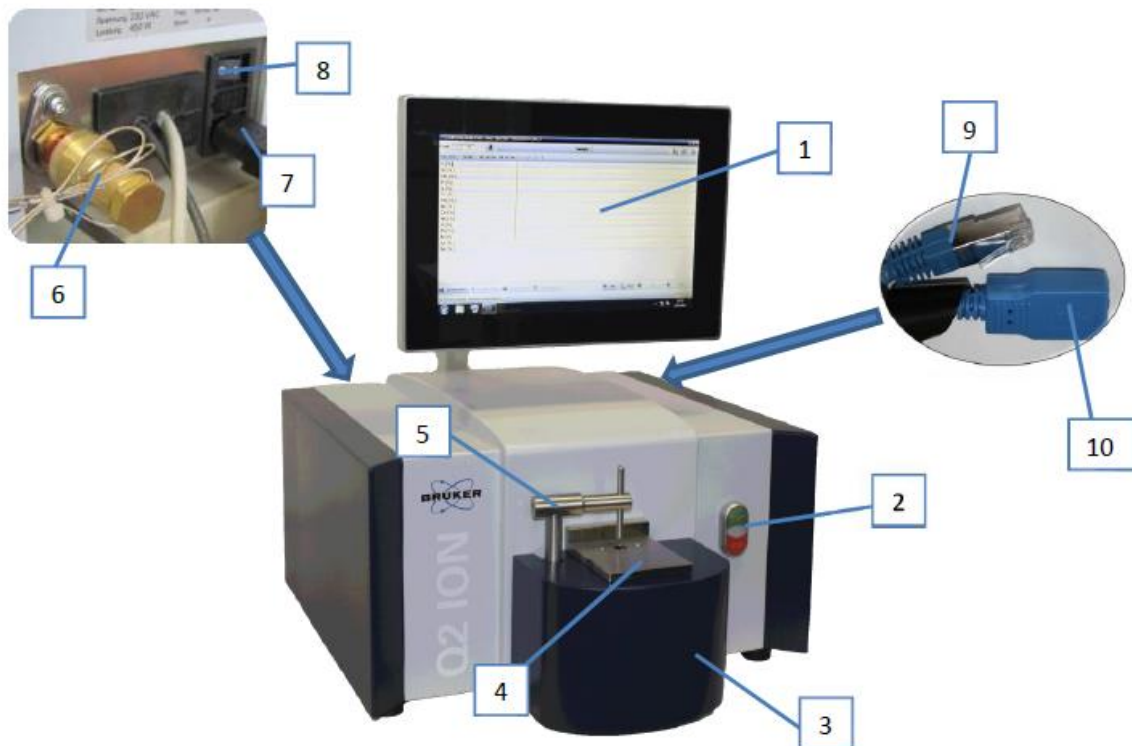


Figura 1.6. Partes del espectrómetro Q2 ION [28]

Partes del espectrómetro Q2 ION:

1. Panel de control
2. Botón inicio/parada
3. Campana de la cámara de chispa
4. Placa de soporte de chispa
5. Abrazadera de muestra
6. Entrada de argón
7. Entrada de corriente
8. Interruptor de encendido/apagado
9. Enchufé ethernet
10. Enchufé USB

Norma ISO 17025:2017

La Norma ISO 17025 se desarrolló con el objetivo de promover la confianza en el ejercicio de los laboratorios. Esta norma contiene requisitos que permiten demostrar si los laboratorios operan de manera conveniente para generar resultados válidos, también solicita que el laboratorio planifique y realice acciones para abordar los riesgos y las oportunidades, para establecer una base para aumentar la eficacia del sistema de gestión,

obtener mejores resultados y advertir efectos negativos. Además, ayuda a la cooperación entre laboratorios y otros organismos, al intercambio de información y experiencias, así como también a la armonización de normas y procedimientos [29].

Al momento de realizar esta tesis ninguno de los dos laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional con los que se efectuó el análisis cuenta con una certificación ISO 17025.

Norma ASTM 1251 – 17a

La Norma ASTM E1251 – 17a desarrolla el Procedimiento de prueba estándar para Análisis de Aluminio y sus Aleaciones por espectrometría de emisión atómica por chispa para los laboratorios. En la norma se puede encontrar recomendaciones sobre la forma de las muestras a analizarse, los métodos de calibración, los equipos para preparar las muestras e instrucciones para el análisis de las muestras [30].

Norma ASTM 716 – 16

La norma ASTM E716 – 16 trata sobre los procedimientos estándar para muestreo y preparación de muestras de aluminio y sus aleaciones para la determinación de la composición química por espectrometría de emisión atómica por chispa. Esta norma presenta las instrucciones para producir muestras de disco fundido en frío a partir de aluminio fundido durante el proceso de producción, y de metal fundido originado al fundir piezas, el procedimiento para obtener resultados cualitativos mediante la espectrometría de emisión atómica de chispa, las instrucciones para la preparación de muestras y productos antes del análisis [31].

2. METODOLOGÍA

2.1 Introducción

Para el correcto desarrollo de esta tesis se aplica un estudio experimental cualitativo y analítico, en este contexto se realizará ensayos de espectrometría en probetas de aluminio, tanto en el espectrómetro de chispa del Laboratorio de Fundición como en el del DEMEX, con los resultados obtenidos se realizará un análisis estadístico usando la prueba t de Student y complementariamente con el análisis de repetitividad y reproducibilidad se determinará la incertidumbre existente, de esta manera se llegará a conclusiones adecuadas y de ser el caso tomar las correcciones necesarias en el laboratorio para su mejoramiento.

2.2 Equipos y Materiales

- Espectrómetro Bruker ION Q2 (Laboratorio de Fundición)
- Espectrómetro Bruker Q4TASMAN (DEMEX)
- Sierra de cinta para metal
- Torno
- Probetas de aleación de aluminio
- Cepillo metálico para limpiar la punta del electrodo
- Alcohol
- Paño de microfibra

2.3 Procedimiento experimental

2.3.1 Preparación de las probetas

El material escogido para este estudio es el aluminio debido a su menor dureza lo cual facilita el ensayo evitando repetir los chispazos para obtener una lectura correcta como sucede con aceros de alta dureza en los cuales en ocasiones se debe realizar chispazos sobre uno ya realizado.

A partir de un eje de aleación de aluminio proporcionado por el Laboratorio de Fundición, se procedió a realizar los cortes necesarios usando una sierra de cinta, para obtener 10 probetas necesarias tanto para el estudio de reproducibilidad y repetitividad para el proyecto paralelo a este y para el estudio interlaboratorio.

Para la preparación de la superficie de las probetas se utilizó los parámetros establecidos en las normas ASTM E1251 - 17a y la ASTM E716 – 16, los cuales recomiendan una superficie maquinada lisa, libre de rayaduras e inclusiones. La superficie no debe ser pulida, pero si puede tener marcas de herramientas muy finas. La superficie ideal debería tener un acabado de maquina estándar de aproximadamente $1,6 \times 10^{-3}$ mm (63 μ in). Una superficie mucho más fina o gruesa puede resultar en una aparente diferencia analítica.

En base a estos requerimientos las probetas fueron mecanizadas en el Laboratorio de Maquinas – Herramientas de la Escuela Politécnica Nacional mediante torno bajo los parámetros establecidos. Las probetas fueron mecanizadas en ambas caras como requerimiento del DEMEX para el estudio interlaboratorio.



Figura 2.1. Probetas mecanizadas

Fuente: [Propia]

Las probetas fueron enumeradas del 1 al 10 en la parte lateral, considerando la cara superior la que está sobre el número y la cara inferior la que está en la base del número.



Figura 2.2. Probetas enumeradas

Fuente: [Propia]

2.3.2 Procedimiento del ensayo

Antes de iniciar las mediciones se debe encerrar el espectrómetro de chispa del laboratorio de Fundición por 3 veces. Para lo cual se retira la cubierta frontal tirando suavemente, para acceder al bloque de argón, donde encontraremos la manguera superior que conduce a la descarga óptica (opticflush), la manguera central que conduce al soporte de chispa (sparkstandflush).

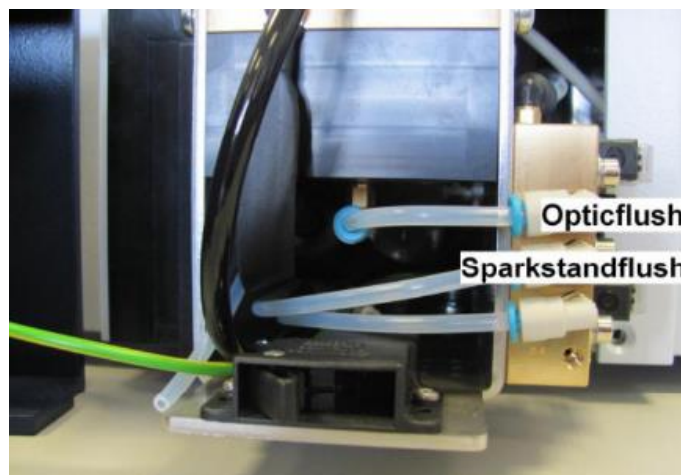


Figura 2.3. Bloque de argón. [32]

Una vez identificadas las conexiones se debe retirar ambas mangueras y conectarlas de manera que la manguera de la descarga óptica vaya en el lugar del soporte de chispa y la manguera del soporte de chispa este conectada en la descarga óptica, a continuación usando Ctrl-F en el software QMatrix, este procedimiento puede tardar unos 5 minutos aproximadamente, después de terminado se debe realizar el encendido por dos veces más con el comando Ctrl-F, al terminar la tercera vez se debe colocar las mangueras en sus posiciones originales.

Para iniciar el ensayo después de haber encendido el equipo es necesario enumerar las probetas y sus caras, además se debe realizar la limpieza de las muestras con el paño de microfibra acompañado de alcohol para eliminar residuos del mecanizado, también se debe realizar una limpieza del soporte de chispas y del electrodo. Para la limpieza del electrodo se procede a realizar movimientos circulares con el cepillo de electrodos.



Figura 2.4. Bloque de argón [28]

A continuación, en el software se procede a escoger la matriz de muestra, para el estudio de esta tesis escogemos Aluminio (Al), en el siguiente paso se debe seleccionar un método apropiado dependiendo de la aleación, para nuestro estudio escogemos Al 100 debido al desconocimiento del tipo de aleación que tienen las probetas. Este método es el indicado para orientarse cuando no se conoce el tipo de aleación del ensayo.

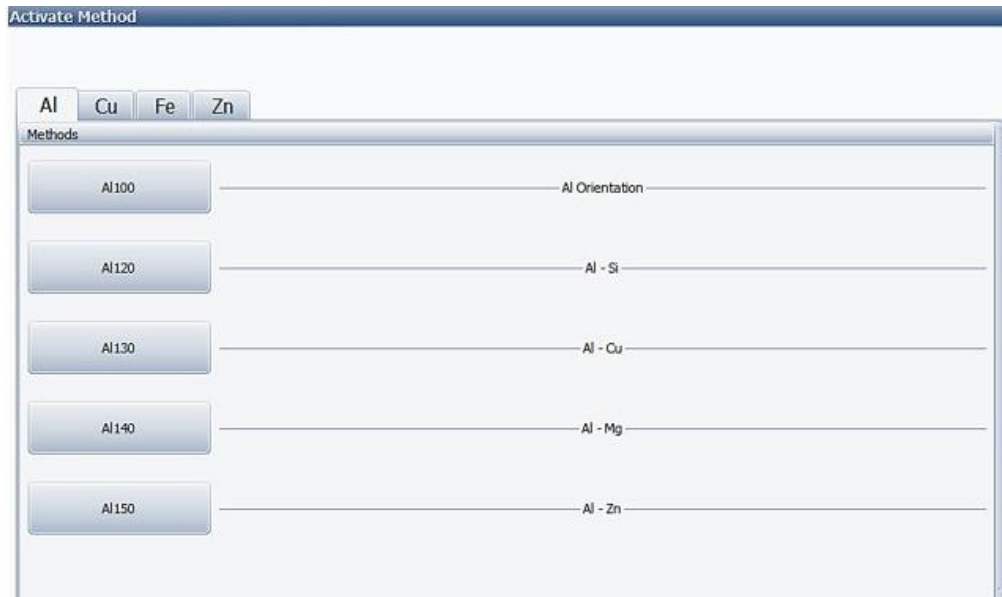


Figura 2.5. Método del ensayo

Fuente: [Propia]

Después de escoger el método se procede a colocar una probeta en el soporte de chispas y sobre esta el porta muestras.



Figura 2.6. Probeta en el soporte de chispas

Fuente: [Propia]

Para iniciar el ensayo en la pantalla del software escogemos Start o también se puede dar inicio desde el botón verde ubicado en la parte frontal del espectrómetro. Los resultados después de aproximadamente un minuto se muestran en la pantalla, generándose un pdf con la información el cual se lo guarda con el nombre determinado por el operario. Antes de iniciar con las siguientes medidas es necesario realizar la limpieza de la probeta, del

soporte de chispas con alcohol y el paño de microfibra, así también del electrodo con el cepillo de electrodos. A continuación, se procede a realizar una nueva medición colocando la probeta en un área no utilizada, hasta completar las 4 mediciones por cara.



Figura 2.7. Probetas ensayadas

Fuente: [Propia]

Debido a la necesidad de realizar el estudio interlaboratorio, se realizó la entrega de las mismas 5 probetas testeadas en el Laboratorio de Fundición, mecanizadas y listas para el ensayo, bajo los mismos parámetros al DEMEX y de esta manera obtener los resultados con los cuales conjuntamente a los ya obtenidos se realizará el estudio estadístico.

2.3.3 Procedimiento estadístico del estudio interlaboratorio

Después de una investigación bibliográfica se determinó que, para el estudio estadístico interlaboratorio objeto de esta tesis se va a realizar una prueba t de Student para dos muestras dependientes emparejadas.

Para realizar la prueba t debemos asumir; la continuidad de los datos, la muestra de datos fue tomada aleatoriamente de la población, homogeneidad en la varianza y que la distribución de los datos es aproximadamente normal.

En primer lugar, antes de iniciar con los cálculos estadísticos se debe establecer las hipótesis; como hipótesis nula (H_0) se manejará que no existe diferencia en los resultados realizados en ambos laboratorios y como hipótesis alternativa (H_a) se tendrá que si existe una diferencia en los resultados de ambos laboratorios. Además, se establece que el análisis a realizar es de dos colas debido a que se busca conocer si los datos pertenecen o no a una misma población.

Hipótesis nula:

$$H_0: \mu_d = 0$$

Hipótesis alternativa (Prueba de dos colas):

$$H_a: \mu_d \neq 0$$

Definimos también el nivel de significancia (α), usaremos un nivel de significancia de 0,05 (5%) al ser un nivel de significación establecido para áreas de investigación no tan rigurosas [33]. Con los resultados de los laboratorios se procede a calcular la estadística t y la probabilidad (p), si esa probabilidad es más baja que el nivel de significancia $p < \alpha$, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa.

Con los resultados de la composición química de las probetas obtenidos en los laboratorios (Anexo I) se procede a agrupar los resultados de acuerdo con cada elemento químico, medición y por laboratorio.

Tabla 2.1. Porcentaje del Aluminio en cada medición

Número de medición	Laboratorio de Fundición	DEMEX
1	97,090	97,090
2	97,090	97,090
3	97,150	97,030
4	97,080	97,080
5	97,120	97,110
6	97,070	97,110
7	97,050	97,100
8	97,040	97,100
9	97,160	97,140
10	97,070	97,050
11	97,020	97,080
12	97,080	97,080
13	97,100	97,090
14	97,080	97,130
15	97,050	97,100
16	97,090	97,090
17	97,070	97,060
18	97,030	97,090
19	97,060	97,100
20	97,100	97,010
21	97,110	97,100
22	97,080	97,080
23	97,120	97,070
24	97,070	97,070
25	97,070	97,050

26	97,050	97,080
27	97,110	97,090
28	97,090	97,600
29	97,080	97,050
30	97,110	97,060
31	97,020	97,030
32	97,090	97,080
33	97,080	97,050
34	97,090	97,060
35	97,010	97,100
36	97,020	97,050
37	97,080	97,090
38	97,090	97,110
39	97,050	97,090
40	97,050	97,070

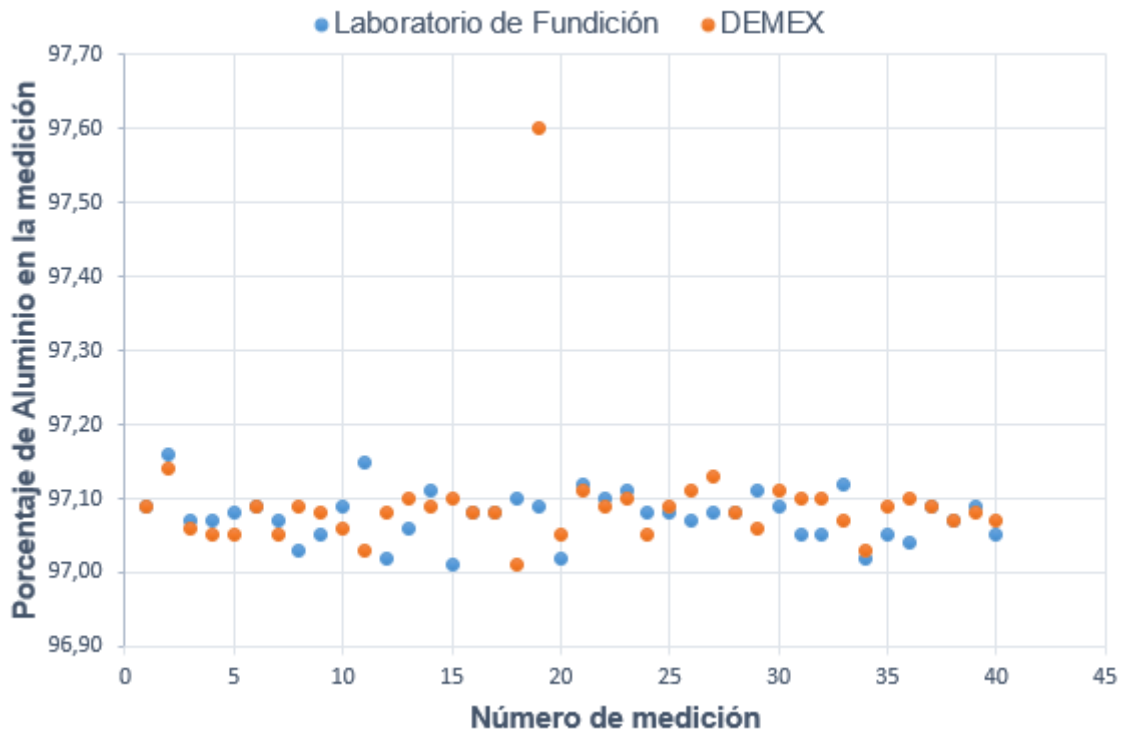


Figura 2.8. Dispersión de las mediciones en el estudio interlaboratorio para el Aluminio

Fuente: [Propia]

Una vez agrupados los datos se calcula la media de cada elemento \bar{x}_{1Al} (media del aluminio del Laboratorio de Fundición), \bar{x}_{2Al} (media del aluminio del DEMEX), de la misma manera se procederá con todos los elementos restantes.

Ejemplo de cálculo de la media del Aluminio para las mediciones del Laboratorio de Fundición:

$$\bar{x}_{1AL} = \frac{97,090 + 97,090 + 97,150 + \dots + 97,090 + 97,050 + 97,050}{40} = 97,077$$

Ejemplo de cálculo de la media del Aluminio para las mediciones del Laboratorio del DEMEX:

$$\bar{x}_{2AL} = \frac{97,090 + 97,090 + 97,030 + \dots + 97,110 + 97,090 + 97,070}{40} = 97,093$$

Después de calculadas las medias se procede a calcular la media de las diferencias muestrales $\bar{d}_{al} = |\bar{x}_{1AL} - \bar{x}_{2AL}|$ con cada elemento.

Ejemplo de cálculo de la media de las diferencias muestrales para las mediciones del Aluminio:

$$\bar{d}_{al} = |97,077 - 97,093| = 0,016$$

La desviación estándar muestral s_D se calcula restando cada medición del laboratorio de Fundición con la correspondiente medición del DEMEX ($x_{iFundicion} - x_{iDEMEX}$), se debe obtener 40 resultados, los cuales deben ser seleccionados con el comando "DESVEST.M" de Excel para obtener la desviación estándar muestral s_D . Este proceso se debe repetir para las mediciones del resto de elementos químicos determinados.

Ejemplo de cálculo de la desviación estándar muestral s_D del Aluminio:

Tabla 2.2. Ejemplo de cálculo de $x_{iFundicion} - x_{iDEMEX}$

Numero de medición	Laboratorio de Fundición ($x_{iFundicion}$)	DEMEX (x_{iDEMEX})	$x_{iFundicion} - x_{iDEMEX}$
1	97,090	97,090	0,000
2	97,090	97,090	0,000
3	97,150	97,030	-0,120
4	97,080	97,080	0,000
5	97,120	97,110	-0,010
n	$x_{nFundicion}$	x_{nDEMEX}	$x_{nFundicion} - x_{nDEMEX}$

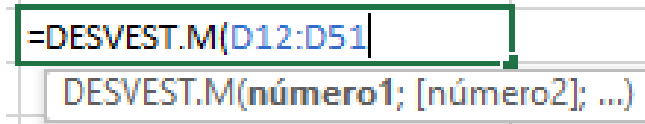


Figura 2.9. Cálculo de la desviación estándar s_D en Excel

Fuente: [Propia]

El valor de la desviación estándar muestral s_D es:

$$s_D = 0,09003703$$

Con los valores calculados determinamos t reemplazando los valores en la ecuación 1.14 donde $\Delta_0 = 0$.

$$t = \frac{\bar{d} - \Delta_0}{s_D / \sqrt{n}}$$

Ejemplo de cálculo de t para las mediciones de Aluminio en el estudio interlaboratorio:

$$t = \frac{0,016}{1,12390297 / \sqrt{40}} = 1,12390297$$

Con el valor de t y los grados de libertad, usando el comando en Excel “DISTR.T.2C” se obtiene la estadística p , también se puede determinar el valor de p con tablas estadísticas o en cualquier otro programa como Matlab o Minitab.

Ejemplo de cálculo de la estadística p en Excel para las mediciones de Aluminio en el estudio interlaboratorio:

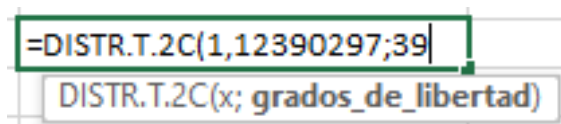


Figura 2.10. Cálculo de la estadística p en Excel

Fuente: [Propia]

El valor de la estadística p es:

$$p = 0,26792472$$

En base a los valores de p se determina si se rechaza la hipótesis nula o se falla en rechazar la misma.

$p = 0,28179625 > \alpha$; Fallamos en rechazar la Hipótesis nula.

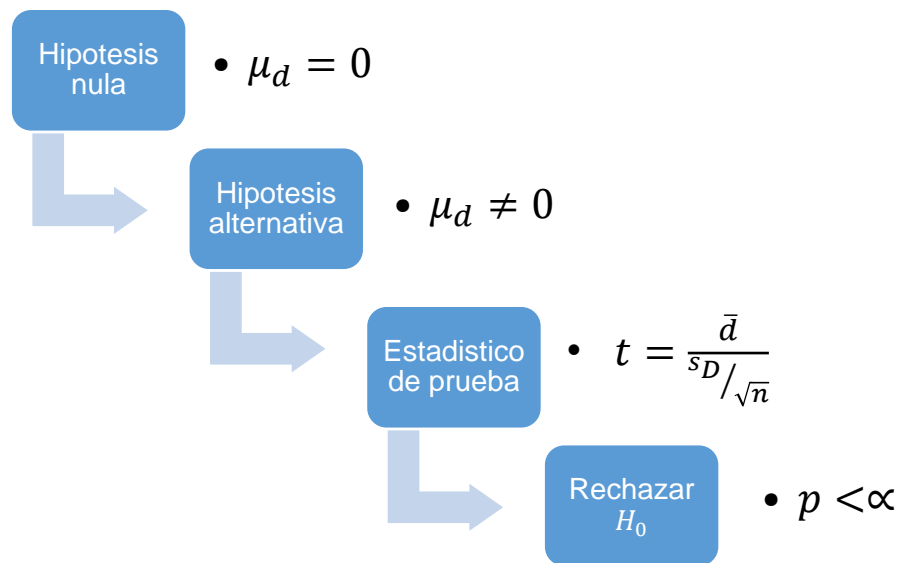


Figura 211. Procedimiento estadístico

Fuente: [Propia]

2.3.4 Procedimiento estadístico para determinar la incertidumbre del espectrómetro de chispa del Laboratorio de Fundición

Después de una investigación bibliográfica se determinó que, para determinar la incertidumbre del espectrómetro de chispa del Laboratorio de Fundición se va a realizar un estudio de repetitividad y reproducibilidad.

En primer lugar, antes de iniciar con los cálculos estadísticos se debe establecer las hipótesis; como hipótesis nula (H_0) se manejará que la interacción entre los operarios, el equipo y la muestra no tienen efecto sobre las medidas y como hipótesis alternativa (H_a) se tendrá que la interacción entre los operarios, el equipo y la muestra si tienen efecto sobre las medidas.

Definimos también el nivel de significancia (α), usaremos un nivel de significancia de 0,05 (5%) al ser un nivel de significación establecido para áreas de investigación no tan rigurosas [33]. Con los resultados del espectrómetro de chispa se procede a calcular la estadística F y la probabilidad (p), si esa probabilidad es más baja que el nivel de significancia $p < \alpha$, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alternativa, además de calcular las incertidumbres relacionadas al ensayo.

Con los resultados de la composición química de las probetas obtenidos en el espectrómetro de chispa del Laboratorio de Fundición (Anexo I) se procede a agrupar los resultados de acuerdo con cada elemento químico, operario y número de chispazo.

Tabla 2.3. Porcentaje del Aluminio en cada medición

Operador	Medición	Muestra									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	97,06	96,86	96,97	97,06	97,06	96,98	97,03	97,08	97,05	97,06
	2	97,07	97,03	97,12	97,05	97,08	97,07	97,14	97,09	97,11	97,05
	3	97,07	97,05	97,04	97,11	97,02	97,10	97,03	97,06	97,05	97,01
2	1	97,02	97,04	96,97	97,03	97,09	97,00	97,02	97,02	97,03	97,00
	2	97,01	97,05	97,06	97,05	97,02	96,98	97,02	97,05	97,02	97,05
	3	96,99	97,03	97,01	97,01	97,02	97,00	96,98	97,02	97,05	97,01
3	1	96,88	96,98	96,85	96,94	96,90	97,00	96,96	96,94	96,95	96,89
	2	96,99	97,06	97,03	96,96	97,00	97,04	97,01	97,05	97,06	96,99
	3	97,03	96,98	97,00	97,03	97,00	97,03	96,98	97,02	97,01	97,06

Para los siguientes cálculos se establecen las siguientes constantes:

- a = 3, número de operadores.
- b = 10, número de partes o muestras.
- n = 3, número de medidas de cada operador por cada parte
- N = 90, número total de datos

Se calcula en primer lugar la suma total de todos los datos:

$$T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n x_{ijk}$$

Ecuación 2.1. Suma total de todos los datos [34]

Ejemplo de cálculo de $T =$

$$T = 97,06 + 97,07 + \dots + 96,99 + 97,06 = 8731,83$$

Cálculo de la suma del cuadrado de todos:

$$T_x^2 = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n x_{ijk}^2$$

Ecuación 2.2. Suma del cuadrado de todos los datos [34]

Ejemplo de cálculo de $T_x^2 =$

$$T_x^2 = 9420,644 + 9422,585 + \dots + 9407,060 + 9420,644 = 847165,306$$

Cálculo de la suma de los cuadrados totales de las combinaciones de factores sobre n :

$$T_c^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b T_{ij}^2$$

Ecuación 2.3. Suma de cuadrados totales de las combinaciones de factores sobre n [34]

Ejemplo de cálculo de T_c^2 :

$$T_c^2 = \frac{(97,06 + 97,07 + 97,07)^2 + \dots \dots \dots (96,89 + 96,99 + 97,06)^2}{3} = 847165,161$$

Cálculo de la suma de los cuadrados de los totales para los operadores:

$$T_1^2 = \frac{1}{bn} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n T_{jk}^2$$

Ecuación 2.4. Suma de los cuadrados de los totales para los operadores [34]

Ejemplo de cálculo de T_1^2 :

$$T_1^2 = \frac{(291,20+290,94+ \dots\dots+291,12)^2 + (291,02+291,12+ \dots\dots+291,06)^2 + (290,90+291,02+ \dots\dots+290,94)^2}{30}$$

Cálculo de la suma de los cuadrados de los totales para las partes:

$$T_2^2 = \frac{1}{an} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n T_{ik}^2$$

Ecuación 2.5. Suma de los cuadrados de los totales para las partes [34]

Ejemplo de cálculo de T_2^2 :

$$T_2^2 = \frac{873,12^2 + 873,08^2 + \dots \dots + 873,12^2}{9} = 847165,066$$

Cálculo de las sumas de los cuadrados:

$$SSA = T_1^2 - \frac{T^2}{N} = 0,0628$$

Ecuación 2.6. Suma de los cuadrados del operador [34]

$$SSB = T_2^2 - \frac{T^2}{N} = 0,0092$$

Ecuación 2.7. Suma de los cuadrados de las partes

$$SSAB = T_c^2 + \frac{T^2}{N} - T_1^2 - T_2^2 = 0,0319$$

Ecuación 2.8. Suma de cuadrados de los totales de la interacción [34]

$$SSE = T_x^2 - T_c^2 = 0,1451$$

Ecuación 2.9. Suma de cuadrados del error [34]

$$SST = T_x^2 - \frac{T^2}{N} = 0,2491$$

Ecuación 2.10. Suma de cuadrados de los totales del total [34]

Tabla 2.4. Análisis de varianza (ANOVA) [34]

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	Estadística F	Probabilidad p
Operador	a-1=2	MSA= SSA/a-1=0,0314	MSA/MSE=12,9825	2,0000E-05
Partes	b-1=9	MSB= SSB/b-1=0,0010	MSB/MSE=0,4246	9,1676E-01
Interacción	(a-1)(b-1)=18	MSAB= SSAB/(a-1)(b-1)=0,0017	MSAB/MSE=0,7327	7,6437E-01
Error	ab(n-1) =60	MSE=SSE/ab(a-1) =0,0024		
Total	N-1=89			

Ejemplo de cálculo de la probabilidad p en Excel:

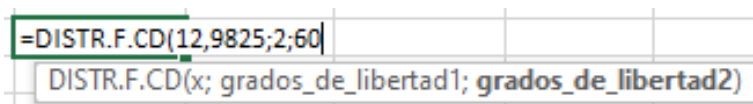


Figura 2.12. Cálculo de la probabilidad p

Fuente: [Propia]

En base a los valores de p se determina si se rechaza la hipótesis nula o se falla en rechazar la misma.

Para un nivel de significancia de 0,05 se calculan las incertidumbres con las siguientes formulas:

$$MS_{Pool} = \frac{SSE + SSAB}{N - a - b + 1}$$

Ecuación 2.13. Media de combinación de cuadrados [35]

Ejemplo de cálculo de MS_{Pool} =

$$MS_{Pool} = \frac{0,1451 + 0,0319}{90 - 3 - 10 + 1} = 0,0023$$

Repetibilidad o incertidumbre por el equipo:

$$u_{equipo} = \sqrt{MS_{Pool}}$$

Ecuación 2.14. Incertidumbre del equipo [34]

Ejemplo de cálculo de u_{equipo} :

$$u_{equipo} = \sqrt{0,0023} = 0,0476$$

Reproducibilidad o incertidumbre por operador:

$$u_{operador} = \sqrt{\frac{MSA - MS_{Pool}}{bn}}$$

Ecuación 2.15. Incertidumbre por operador [34]

Ejemplo de cálculo de $u_{operador}$:

$$u_{operador} = \sqrt{\frac{0,0314 - 0,0023}{30}} = 0,0311$$

Incertidumbre por resolución

$$u_{resolución} = \frac{dx}{\sqrt{12}}$$

Ecuación 2.16. Incertidumbre por resolución [35]

Ejemplo de cálculo de $u_{resolución}$:

$$u_{resolución} = \frac{0,01}{\sqrt{12}} = 0,0028$$

Incertidumbre combinada:

$$u_c = \sqrt{u_{operador}^2 + u_{equipo}^2 + u_{resolución}^2}$$

Ecuación 2.17. Incertidumbre combinada [34]

Ejemplo de cálculo de u_c :

$$u_c = \sqrt{0,0311^2 + 0,0476^2 + 0,0028^2} = 0,0570$$

Incertidumbre expandida:

$$U = k * u_c(y)$$

Ecuación 2.18. Incertidumbre expandida [35]

Ejemplo de cálculo de U:

$$U = 1.96 * 0.0570 = 0,1117$$

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Tratamiento estadístico de los resultados del estudio interlaboratorio

Con los valores de las mediciones obtenidas de las probetas de aluminio en los dos laboratorios se realizó una prueba t de Student de los elementos de la composición química arrojados, con el objetivo de establecer si, existe o no una diferencia significativa entre ambos laboratorios, en términos estadísticos rechazar o fallar en rechazar la Hipótesis nula (H_0). Para lo cual se usó las fórmulas detalladas en el capítulo 2.

3.1.1 Estudio interlaboratorio para evaluar la Hipótesis nula (H_0)

El estudio interlaboratorio se realizó en base a la aplicación de la prueba t de Student a las mediciones obtenidas en el Laboratorio de Fundición y del DEMEX, en total se realizaron 80 espectrometrías (40 en cada laboratorio) usando las mismas 5 probetas (Anexo I), para determinar la respectiva composición química.

3.1.2 Resultados del estudio interlaboratorio

En las tablas que se presentan en este capítulo se detallan los valores estadísticos necesarios para realizar un correcto análisis, además de gráficos de caja y bigotes para

afirmar la interpretación de los resultados de cada elemento de la composición química de las probetas testeadas en ambos laboratorios.

Los elementos químicos resultantes de la espectrometría en ambos laboratorios fueron: Aluminio (Al), Silicio (Si), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Magnesio (Mg), Cromo (Cr), Zinc (Zn), Titanio (Ti), Galio (Ga) y Vanadio (V). (Anexo I)

Para el presente estudio se considera únicamente al Aluminio, Silicio, Manganeso y Hierro, al ser los elementos típicos en una aleación de aluminio. Los resultados de la prueba t de Student para cada elemento establecido se presentan a continuación:

3.1.2.1 Prueba t de Student para el Aluminio (Al)

Tabla 3.1. Prueba t para las mediciones del Aluminio

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas (Al)		
Valores estadísticos	Lab. de Fundición	DEMEX
Media	97,076750	97,092750
Desviación estándar muestral	0,090037	
Numero de mediciones	40	40
Grados de libertad	39	39
Nivel de significancia α	0,05	
Estadístico t	1,123903	
Probabilidad p (dos colas)	0,267924716	
$p > \alpha$	Fallamos en rechazar la Hipótesis nula	

En base a los resultados de la prueba t, se falla en rechazar la Hipótesis nula, por lo cual se tiene un 95% de seguridad de que los resultados en ambos laboratorios pertenecen a una misma población.

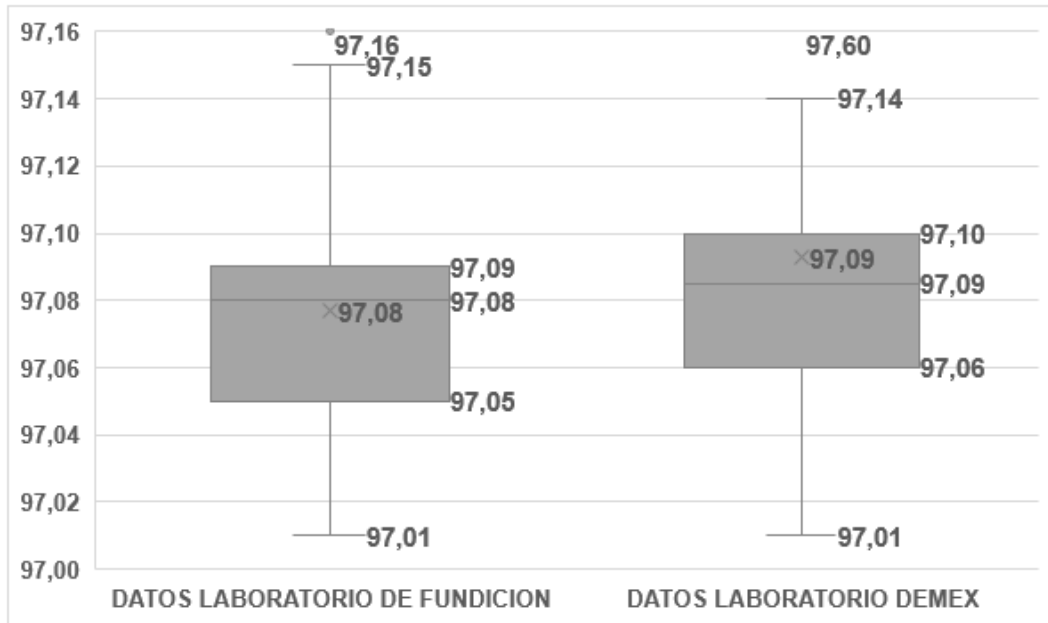


Figura 3.1. Diagrama de caja y bigotes del Aluminio

Fuente: [Propia]

El diagrama de caja y bigotes de la figura 3.1. muestra claramente una dispersión de datos similar, habiendo ligeras diferencias entre medianas, medias, así como los valores máximos y mínimos.

3.1.2.2 Prueba t de Student para el Silicio (Si)

Tabla 3.2. Prueba t para las mediciones de Silicio

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas (Si)		
Valores estadísticos	Lab. de Fundición	DEMEX
Media	1,190650	1,334625
Desviación estándar muestral	0,032632	
Numero de mediciones	40	40
Grados de libertad	39	39
Nivel de significancia α	0,05	
Estadístico t	27,904470	
Probabilidad p (dos colas)	2,20955E-27	
$p < \alpha$	Rechazamos la Hipótesis nula	

En base a los resultados de la prueba t, se rechaza la Hipótesis nula, por lo cual se tiene un 95% de seguridad de que los resultados en ambos laboratorios pertenecen a dos poblaciones diferentes.

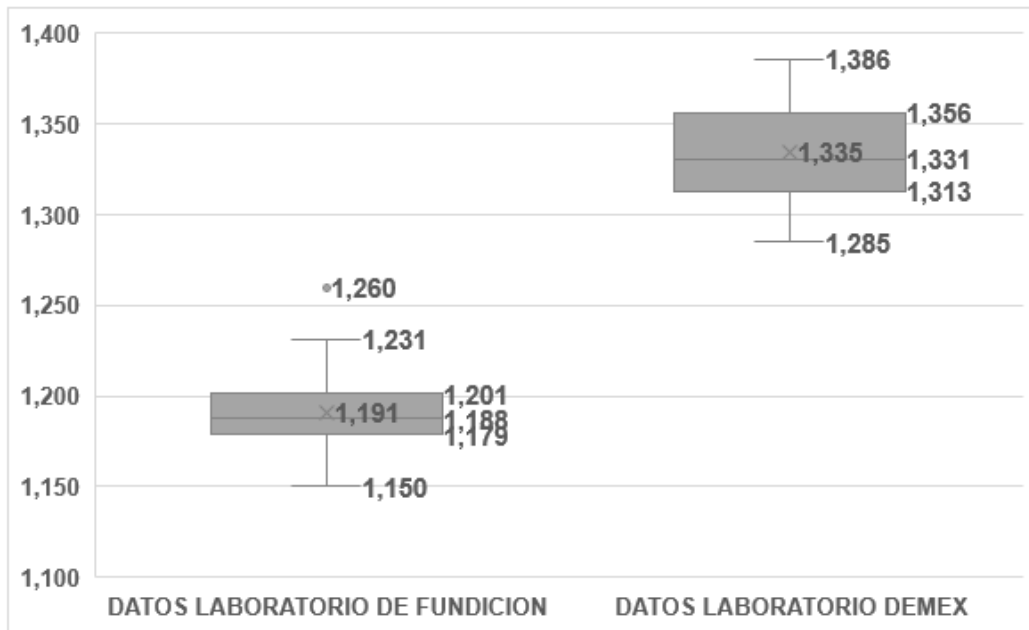


Figura 3.2. Diagrama de caja y bigotes del Silicio

Fuente: [Propia]

El diagrama de caja y bigotes de la figura 3.2. muestra claramente una dispersión de datos distinta, habiendo diferencias entre medianas, medias, así como los valores máximos y mínimos.

3.1.2.3 Prueba t de Student para el Magnesio (Mg)

Tabla 3.3. Prueba t para las mediciones del Magnesio

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas (Mg)		
Valores estadísticos	Lab. de Fundición	DEMEX
Media	0,91390000	0,64420000
Desviación estándar muestral	0,02313195	
Numero de mediciones	40	40
Grados de libertad	39	39
Nivel de significancia α	0,05	
Estadístico t	73,739242	
Probabilidad p (dos colas)	1,699E-43	
$p < \alpha$	Se rechaza la hipótesis nula	

En base a los resultados de la prueba t, se rechaza la Hipótesis nula, por lo cual se tiene un 95% de seguridad de que los resultados en ambos laboratorios pertenecen a dos poblaciones diferentes.

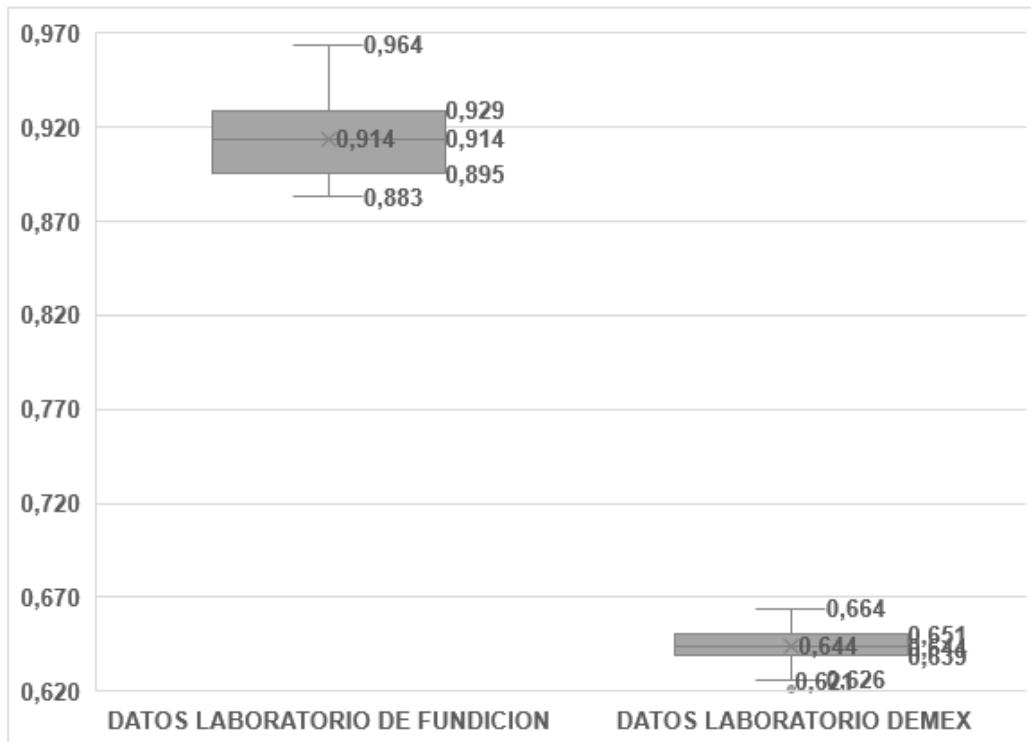


Figura 3.3. Diagrama de caja y bigotes del Magnesio

Fuente: [Propia]

El diagrama de caja y bigotes de la figura 3.6. muestra claramente una dispersión de datos distinta, habiendo diferencias entre medianas, medias, así como los valores máximos y mínimos.

3.3.1.1 Prueba t de Student para el Hierro (Fe)

Tabla 3.4. Prueba t para las mediciones del Hierro

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas (Fe)		
Valores estadísticos	Lab. de Fundición	DEMEX
Media	0,264750	0,223625
Desviación estándar muestral	0,018488	
Numero de mediciones	40	40
Grados de libertad	39	39
Nivel de significancia α	0,05	
Estadístico t	14,068475	
Probabilidad p (dos colas)	7,27061E-17	
$p < \alpha$	Rechazamos la Hipótesis nula	

En base a los resultados de la prueba t, se rechaza la Hipótesis nula, por lo cual se tiene un 95% de seguridad de que los resultados en ambos laboratorios pertenecen a dos poblaciones diferentes.

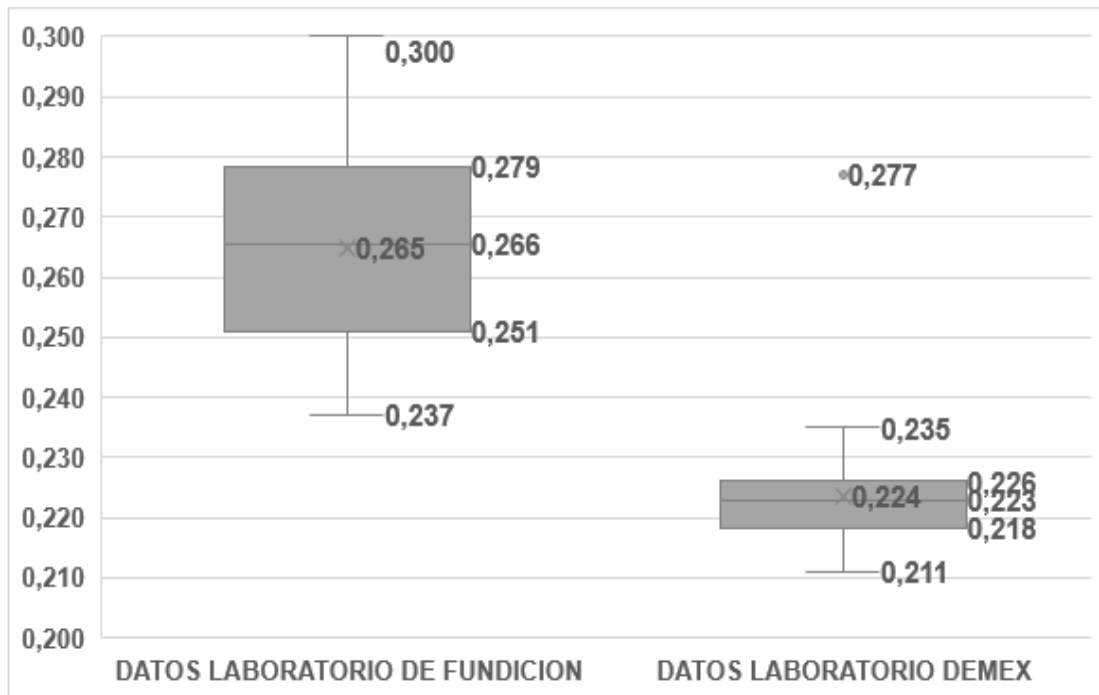


Figura 3.4. Diagrama de caja y bigotes del Hierro

Fuente: [Propia]

El diagrama de caja y bigotes de la figura 3.3. muestra claramente una dispersión de datos distinta, habiendo diferencias entre medianas, medias, así como los valores máximos y mínimos, además de un valor atípico en las mediciones del DEMEX.

3.2 Tratamiento estadístico de los resultados del estudio de Repetitividad y Reproducibilidad

Con los valores de las mediciones obtenidas de las probetas de aluminio en el Laboratorio de Fundación se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) de los elementos de la composición química arrojados con el objetivo de establecer la incertidumbre existente en el espectrómetro de chispa.

3.2.1 Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad

El estudio de Repetitividad y Reproducibilidad se realizó aplicando el análisis de varianza (ANOVA), para lo cual se usaron 10 probetas debidamente preparadas. Sobre cada una de las cuales se aplicaron tres chispazos (espectrometrías) en tiempos diferentes y de manera aleatoria, además este proceso fue repetido tres veces con distintos operadores,

antes del inicio de un nuevo proceso con otro operador las probetas fueron debidamente preparadas. En total se realizaron 90 espectrometrías, 30 por cada operador (ANEXO I).

3.2.2 Resultados del estudio de Repetitividad y Reproducibilidad

En las tablas que se presentan a continuación se detallan los valores estadísticos del estudio de repetitividad y reproducibilidad determinados por medio del análisis de varianza (ANOVA) con los cuales se calculó las incertidumbres asociadas al espectrómetro de chispa en base a los elementos de la composición química de las probetas testeadas en el Laboratorio de Fundición.

Para el presente estudio se considera únicamente al Aluminio, Silicio, Manganeso y Hierro, al ser los elementos más representativos en una aleación de aluminio. Los resultados del estudio de repetitividad y reproducibilidad para cada elemento establecido se presentan a continuación:

3.2.2.1 Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad para el Aluminio (Al)

Tabla 3.5. Análisis de varianza para el Aluminio (Al)

Fuentes de variación	Suma de cuadrados		Grados de libertad	Cuadrados medios		Estadística F	Probabilidad p
Operador	SSA	0,06280667	2	MSA	0,03140333	12,98254471	0,00002065
Partes	SSB	0,00924556	9	MSB	0,00102728	0,42469248	0,91676845
Interacción	SSAB	0,03190444	18	MSAB	0,00177247	0,73276170	0,76437175
Error	SSE	0,14513333	60	MSE	0,00241889		
Total	SST	0,24909000	89				

En base a los resultados del análisis de varianza (ANOVA), donde $p > \alpha$, se falla en rechazar la Hipótesis nula, por lo cual se tiene un 95% de confianza de que la interacción de los operarios, el equipo y las muestras (probetas) no tienen efecto sobre las medidas.

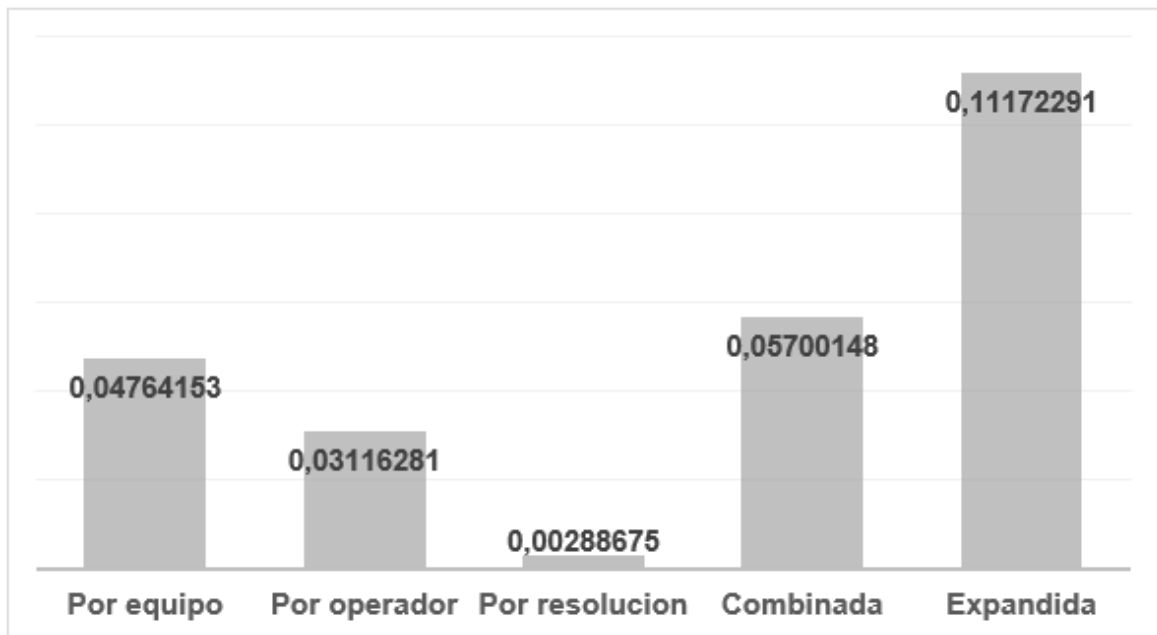


Figura 3.5. Diagrama de incertidumbres del Aluminio

Fuente: [Propia]

El rango determinado en base a la media y la incertidumbre expandida con un 95% de confianza es $97,02 \pm 0,11$. Esto quiere decir que se tiene un intervalo de confianza de $\pm 0,12\%$.

3.2.2.2 Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad para el Silicio (Si)

Tabla 3.6. Análisis de varianza para el Silicio (Si)

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Estadística F	Probabilidad p		
Operador	SSA	0,01183416	2	MSA	0,00591708	8,83878838	0,00043218
Partes	SSB	0,00512379	9	MSB	0,00056931	0,85042139	0,57351906
Interacción	SSAB	0,00562651	18	MSAB	0,00031258	0,46693038	0,96251579
Error	SSE	0,04016667	60	MSE	0,00066944		
Total	SST	0,06275112	89				

En base a los resultados del análisis de varianza (ANOVA), donde $p > \alpha$, se falla en rechazar la Hipótesis nula, por lo cual se tiene un 95% de confianza de que la interacción de los operarios, el equipo y las muestras (probetas) no tienen efecto sobre las medidas.

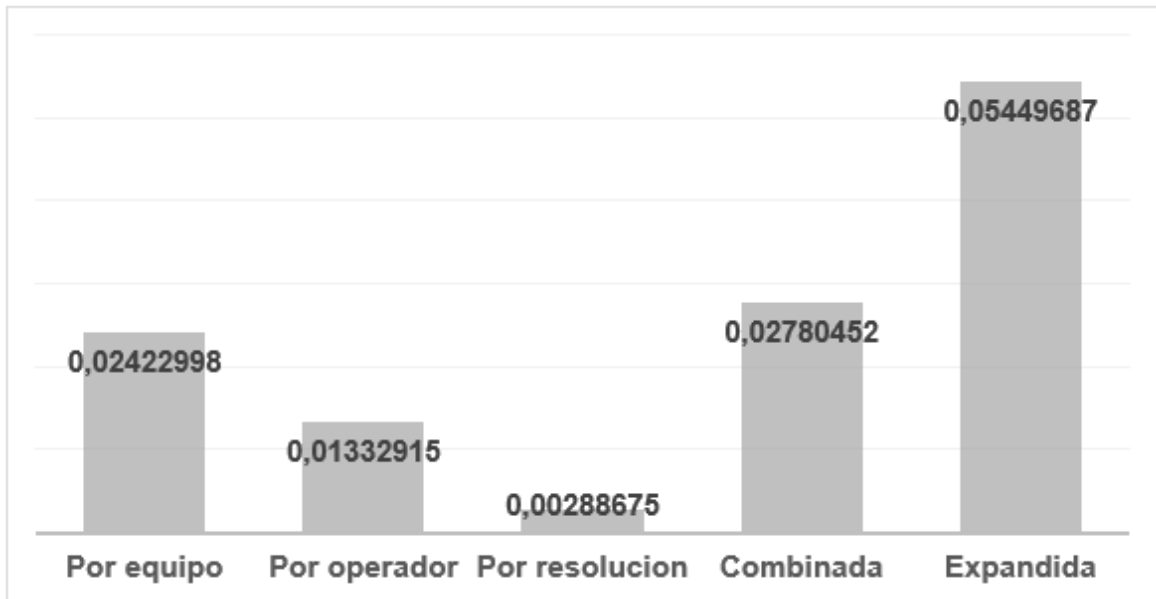


Figura 3.6. Diagrama de incertidumbres del Silicio

Fuente: [Propia]

El rango determinado en base a la media y la incertidumbre expandida con un 95% de confianza es $1,155 \pm 0,054$. Esto quiere decir que se tiene un intervalo de confianza de $\pm 4,717\%$.

3.2.2.3 Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad para el Magnesio (Mg)

Tabla 3.7. Análisis de varianza para el Magnesio (Mg)

Fuentes de variación		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Estadística F	Probabilidad p	
Operador	SSA	0,06059849	2	MSA	0,03029924	62,2587215	2,3090E-15
Partes	SSB	0,00371312	9	MSB	0,00041257	0,8477448	0,57584057
Interacción	SSAB	0,01051284	18	MSAB	0,00058405	1,2000964	0,29029996
Error	SSE	0,02920000	60	MSE	0,00048667		
Total	SST	0,10402446	89				

En base a los resultados del análisis de varianza (ANOVA), donde $p > \alpha$, se falla en rechazar la Hipótesis nula, por lo cual se tiene un 95% de confianza de que la interacción de los operarios, el equipo y las muestras (probetas) no tienen efecto sobre las medidas.

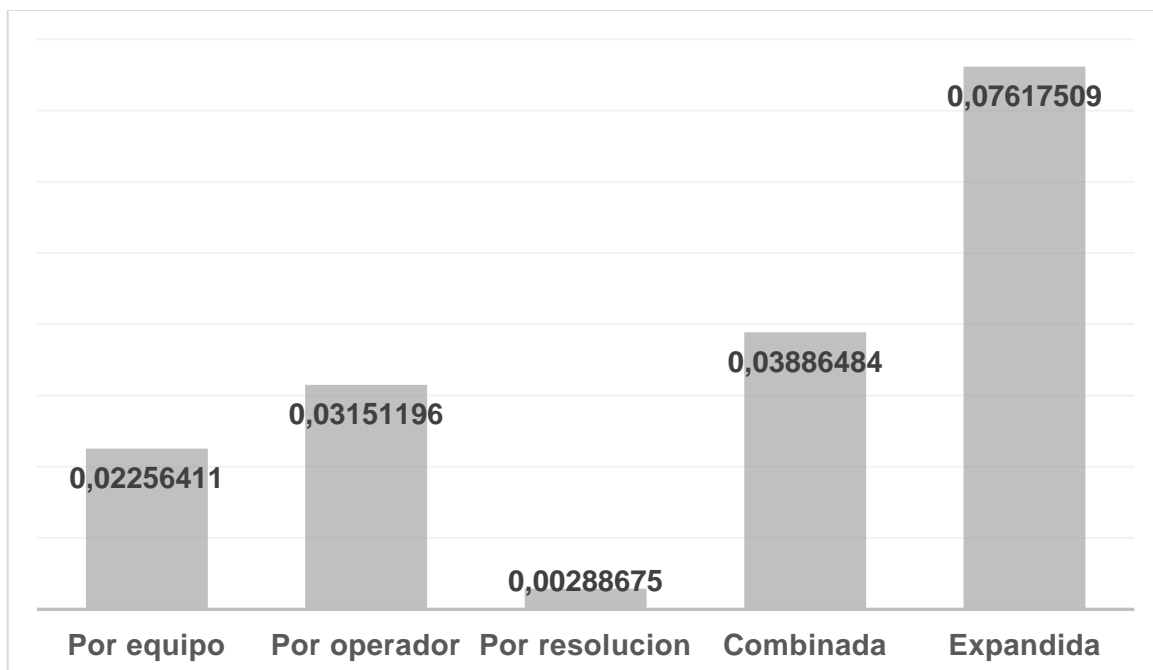


Figura 3.7. Diagrama de incertidumbres del Magnesio

Fuente: [Propia]

El rango determinado en base a la media y la incertidumbre expandida con un 95% de confianza es $0,949 \pm 0,076$. Esto quiere decir que se tiene un intervalo de confianza de $\pm 8,026\%$.

3.2.2.4 Estudio de Repetitividad y Reproducibilidad para el Hierro (Fe)

Tabla 3.8. Análisis de varianza para el Fierro (Fe)

Fuentes de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Estadística F	Probabilidad p		
Operador	SSA	0,01674416	2	MSA	0,00837208	21,1303458	1,13051E-07
Partes	SSB	0,002461567	9	MSB	0,00027351	0,6903073	0,71478632
Interacción	SSAB	0,005774067	18	MSAB	0,00032078	0,8096226	0,68167920
Error	SSE	0,02377267	60	MSE	0,00039621		
Total	SST	0,048752456	89				

En base a los resultados del análisis de varianza (ANOVA), donde $p > \alpha$, se falla en rechazar la Hipótesis nula, por lo cual se tiene un 95% de confianza de que la interacción de los operarios, el equipo y las muestras (probetas) no tienen efecto sobre las medidas.



Figura 3.8. Diagrama de incertidumbres del Hierro

Fuente: [Propia]

El rango determinado en base a la media y la incertidumbre expandida con un 95% de confianza es $0,251 \pm 0,050$. Esto quiere decir que se tiene un intervalo de confianza de $\pm 19,957\%$.

3.3 Conclusiones

- Se validó el método estadístico empleado en el estudio interlaboratorio de muestras de aleación de aluminio utilizando el espectrómetro de chispa del Laboratorio de Fundición y del DEMEX. Además, se determinó la composición química de las muestras.
- El Aluminio es el elemento predominante en la muestra con un 97% aproximadamente, en base a la prueba t de Student para este elemento, los resultados pertenecen a la misma población con un nivel de confianza del 95%.
- Los resultados obtenidos de la prueba t de Student para cada uno de los restantes nueve elementos químicos que están presentes en un 3% aproximadamente en la muestra, determinan con un nivel de confianza del 95% que los resultados en ambos laboratorios no pertenecen a la misma población.
- La polaridad en los resultados del estudio interlaboratorio se debería a la distribución longitudinal de los elementos a lo largo del eje de aleación aluminio del cual se obtuvo las muestras, otra causa posible es la aleatoriedad de los chispazos realizados en los

espectrómetros, es decir no fueron aplicados en posiciones establecidas, dando así lugar a lecturas más altas o bajas de un mismo elemento.

- Los resultados del estudio de repetitividad y reproducibilidad en base al análisis de varianza (ANOVA) para los elementos de la composición química determinados por el espectrómetro de chispa del laboratorio de Fundición establecen con un nivel del 95% de confianza de que la interacción de los operarios, el equipo y las muestras (probetas) no tienen efecto sobre las medidas.
- La incertidumbre expandida determinada en el estudio de repetitividad y reproducibilidad incrementa conforme el porcentaje del elemento disminuye en la composición química de la muestra, esto podría deberse a que no se puede tener una distribución uniforme de elementos en una muestra, otra causa es la aleatoriedad de los chispazos realizado por el espectrómetro de chispa.

3.4 Recomendaciones

- Realizar un estudio interlaboratorio con un patrón certificado, de esta manera se podrá obtener resultados más confiables tanto en los ensayos como en la prueba t de Student.
- Para disminuir la dispersión de los datos en los ensayos, en base a un futuro estudio se debería establecer posiciones fijas en donde se realicen los chispazos y comprobar esta hipótesis.
- Antes de realizar un próximo estudio, se recomienda un mantenimiento y calibración de los equipos a fin de excluir estos errores sistemáticos.
- Realizar un análisis de la misma muestra en un laboratorio que cuente con un espectrómetro de chispa certificado para establecer cual espectrómetro de los que participaron en el estudio interlaboratorio se acerca al valor real.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BIPM, “Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados.”, 2008.
- [2] MOL LABS, “Vocabulario internacional de metrología”, 2008.
- [3] Pan American Health Organization, “METROLOGÍA”, 2002.
- [4] Centro Español de Metrología, “Evaluación de datos de medición Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida”, 2008.
- [5] M. Mar Pérez Hernández, “Estimación de incertidumbres. Guía GUM”.
- [6] “Validación de métodos y estimación de la incertidumbre de medida conforme a la norma ISO/IEC 17025”, Valladolid, jul. 2013.
- [7] Garrido Montenegro Mauricio Santiago, “VALIDACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE COBRE Y NÍQUEL POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN VISIBLE Y DE MERCURIO Y ARSÉNICO POR VOLTAMETRÍA, EN MUESTRAS DE AGUAS CLARAS Y RESIDUALES”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2011.
- [8] M. A. Leiva-Guzmán, “MATERIALES DE REFERENCIA Y COMPARACIONES INTERLABORATORIOS”, Santiago de Chile, 2006.
- [9] “La Metrología”.
https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/146/1_La+Metrologia.pdf?sequence=1 (consultado el 7 de febrero de 2023).
- [10] Taipe Echeverria Diana Elizabeth, “VALIDACIÓN DE METODOS ANALITICOS PARA LA DETERMINACION DE BORO, ZINC Y POTASIO POR ESPECTROFOTOMETRIA EN MUESTRAS DE AGUA EN EL CENTRO DE INVESTIGACION Y CONTROL AMBIENTAL (CICAM)”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2014.
- [11] M. Beaver, B. Mendenhall, y • Beaver, “Introducción a la probabilidad y estadística”. [En línea]. Disponible en: <http://latinoamerica.cengage.com>
- [12] Posada Hernández Gabriel Jaime, *Elementos Básicos de Estadística Descriptiva para el análisis de datos*. 2016. [En línea]. Disponible en: www.funlam.edu.co
- [13] Mendenhall William, Beaver Robert, y Beaver Barbara, *Introducción a la probabilidad y estadística*, Décima tercera. Consultado: el 8 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://latinoamerica.cengage.com>
- [14] S. Peruana De Epidemiología, P. De, L. Cruz-Oré, y J. Luis, “¿Qué significan los grados de libertad?”, *Revista Peruana de Epidemiología*, vol. 17, núm. 2, pp. 1–6, 2013, Consultado: el 18 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203129458002>
- [15] Devore Jay L, *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias Octava edición*, vol. Octava edición. 2012. Consultado: el 11 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecaia.ism.edu.ec/Repository/ProbabilidadEstadistica.pdf>

- [16] Walpole Ronald, Myers Raymond, Myers Sharon, y Ye Keying, *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*, Octava. 2007. [En línea]. Disponible en: www.pearsoneducacion.net/walpole
- [17] Botero Marcela, Santa John, y Mendoza Jairo, “Procedimiento de comparación entre laboratorios de calibración basado en el criterio de error normalizado”, Pereira, ago. 2009.
- [18] Barrentino Larry, *Conceptos para Estudios R & R*, vol. Segunda edición. ASQ Quality Press, 2002.
- [19] Juárez Lugo Carlos Saúl, “Análisis de Varianza de Tipo I: Anova I”, Ecatepec, 2015. [En línea]. Disponible en: www.uaemex.mx
- [20] Serrano Fátima, “TÉCNICAS ESTADÍSTICAS APLICADAS EN NUTRICIÓN Y SALUD”, Consultado: el 9 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/23452427-Tecnicas-estadisticas-aplicadas-en-nutricion-y-salud.html>
- [21] Tipler Paul y Mosca Gene, *Física para la ciencia y la tecnología*, vol. 2. 2008.
- [22] R. A. Serway y C. Vuille, *Fundamentos de Física novena edición*. 2012. [En línea]. Disponible en: <http://latinoamerica.cengage.com>
- [23] “Trabajo Práctico Espectrometría”. <https://fcen.uncuyo.edu.ar/upload/espectrometria-practico-20191.pdf> (consultado el 19 de febrero de 2023).
- [24] M. García, C. J. Eannine, y E. De-Geus, “Introducción a la Física Moderna Tercera Edición”, Bogotá, 2003.
- [25] ESPECTROMETRIA, “Espectrometría; mecanismo, tipos y usos - Espectrometros”, el 11 de junio de 2021. <https://espectrometria.com.mx/espectrometria-mecanismo-tipos-y-usos/> (consultado el 11 de febrero de 2023).
- [26] Metalinspec Laboratorio de Pruebas, “¿Qué es un análisis químico por espectrometría de emisión óptica por chispa?”, 2022. <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/analisis-quimico-por-espectrometria> (consultado el 11 de febrero de 2023).
- [27] “Q2 ION | Bruker”. <https://www.bruker.com/es/products-and-solutions/elemental-analyzers/optical-emission-spectrometers/q2-ion.html> (consultado el 18 de febrero de 2023).
- [28] Bruker, “Manual Q2 ION”, 2013. [En línea]. Disponible en: www.bruker-elemental.com
- [29] I. ISO/IEC17025:2017, “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”, QUITO, abr. 2018. [En línea]. Disponible en: www.iso.org
- [30] ASTM, “Standard Test Method for Analysis of Aluminum and Aluminum Alloys by Spark Atomic Emission Spectrometry”, doi: 10.1520/E1251-17A.

- [31] ASTM, "Standard Practices for Sampling and Sample Preparation of Aluminum and Aluminum Alloys for Determination of Chemical Composition by Spark Atomic Emission Spectrometry", doi: 10.1520/E0716-16.
- [32] Bruker, "Service Manual Q2 Flushing the Optic with high flush".
- [33] Rodriguez Enerio, "Estadística y Psicología: Análisis histórico de la inferencia estadística", Santo Domingo, jun. 2005. Consultado: el 28 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en:
<http://pepsic.bvsalud.org/pdf/pp/v6e7n10/a22.pdf>
- [34] Botero Marcela, Arbeláez Osiel, y Mendoza Jairo, "Método ANOVA utilizado para realizar el estudio de repetitividad y reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición", Pereira, dic. 2007.
- [35] Rendón Suárez Paulina, "Estimación de la incertidumbre de medida en un calibrador tipo vernier de acuerdo a la 'Guía para la expresión de incertidumbre de la medición' (GUM)", 2018. Consultado: el 1 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/27546/tesis%20completa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

5. ANEXOS

5.1 Anexo I. Datos para el estudio interlaboratorio

Los informes presentados a continuación corresponden a los análisis realizados en el espectrómetro de chispa del Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica, para la correcta identificación de cada ensayo se usó la siguiente codificación; **M** para la muestra (probeta), **1** el primer número significa el número de muestra, **1** el segundo número indica la cara de la muestra (**1** para la cara superior y **2** para la cara inferior), y **A** la letra al final significa el número de chispazo realizado sobre la muestra (**A** para el primer chispazo, **B** para el segundo chispazo, **C** para el tercer chispazo y **D** para el cuarto chispazo). El código **M1-1-A** indica que se trata de la primera muestra (**1**), en la cual se realizó el primer chispazo (**A**) sobre la cara superior (**1**).

Tabla 5.1. Composición química de la muestra M1-1-A

Bruker Analysis Report



Sample:	M1-1-A				
Analysis Time:	25.01.2023 11:10:15			Method:	Al100
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,176	0,266	0,053	0,334	0,914
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,087	<0,0050	0,013	0,027	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	<0,0020	0,0066	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,09			

Tabla 5.2. Composición química de la muestra M1-1-B

Bruker Analysis Report



Sample:	M1-1-B				
Analysis Time:	25.01.2023 11:16:02	Method:	Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,178	0,260	0,053	0,321	0,930
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,083	<0,0050	0,012	0,026	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0048	<0,0020	0,0058	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,015	0,0018
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,09			

Tabla 5.3. Composición química de la muestra M1-1-C

Bruker Analysis Report



Sample:	M1-1-C				
Analysis Time:	25.01.2023 11:17:51	Method:	Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,150	0,268	0,052	0,318	0,898
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,078	<0,0050	0,011	0,026	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0054	<0,0020	0,0058	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,020	0,0014
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,15			

Tabla 5.4. Composición química de la muestra M1-1-D**Bruker Analysis Report**

Sample: M1-1-D

Analysis Time: 25.01.2023 11:19:24

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,193	0,256	0,052	0,328	0,924
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,084	<0,0050	0,014	0,026	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0050	<0,0020	0,0060	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,011	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,08			

Tabla 5.5. Composición química de la muestra M1-2-A**Bruker Analysis Report**

Sample: M1-2-A

Analysis Time: 25.01.2023 11:21:35

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,176	0,263	0,050	0,317	0,912
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,082	<0,0050	0,013	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0052	<0,0020	0,0055	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,017	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,12			

Tabla 5.6. Composición química de la muestra M1-2-B

Bruker Analysis Report



Sample: M1-2-B

Analysis Time: 25.01.2023 11:25:05

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,182	0,255	0,053	0,338	0,931
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,088	0,0051	0,014	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0055	<0,0020	0,0067	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,07			

Tabla 5.7. Composición química de la muestra M1-2-C

Bruker Analysis Report



Sample: M1-2-C

Analysis Time: 25.01.2023 11:27:15

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,159	0,237	0,053	0,359	0,959
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,093	<0,0050	0,014	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0047	<0,0020	0,0067	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Tabla 5.8. Composición química de la muestra M1-2-D

Bruker Analysis Report



Sample: M1-2-D

Analysis Time: 25.01.2023 11:28:49

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,162	0,246	0,054	0,361	0,958
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,092	0,0052	0,014	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0050	<0,0020	0,0069	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,04			

Tabla 5.9. Composición química de la muestra M4-1-A

Bruker Analysis Report



Sample: M4-1-A

Analysis Time: 25.01.2023 11:31:28

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,160	0,265	0,051	0,315	0,887
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,081	<0,0050	0,012	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0054	<0,0020	0,0056	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,014	0,0013
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,16			

Tabla 5.10. Composición química de la muestra M4-1-B

Bruker Analysis Report



Sample:	M4-1-B				
Analysis Time:	25.01.2023 11:33:48		Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,185	0,251	0,052	0,341	0,943
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,088	<0,0050	0,014	0,027	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0047	<0,0020	0,0060	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,07			

Tabla 5.11. Composición química de la muestra M4-1-C

Bruker Analysis Report



Sample:	M4-1-C				
Analysis Time:	25.01.2023 11:35:27		Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,184	0,246	0,053	0,359	0,964
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,094	<0,0050	0,015	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0046	<0,0020	0,0064	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,02			

Tabla 5.12. Composición química de la muestra M4-1-D

Bruker Analysis Report



Sample: M4-1-D					
Analysis Time: 25.01.2023 11:37:03			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,190	0,240	0,052	0,335	0,926
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,088	<0,0050	0,015	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0062	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0073	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,08			

Tabla 5.13. Composición química de la muestra M4-2-A

Bruker Analysis Report



Sample: M4-2-A					
Analysis Time: 25.01.2023 11:39:05			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,180	0,252	0,052	0,328	0,915
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,087	<0,0050	0,014	0,027	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	<0,0020	0,0059	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0096	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,10			

Tabla 5.14. Composición química de la muestra M4-2-B

Bruker Analysis Report



Sample:	M4-2-B				
Analysis Time:	25.01.2023 11:41:04	Method:	Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,189	0,253	0,052	0,334	0,929
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,090	<0,0050	0,014	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0052	<0,0020	0,0058	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0066	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,08			

Tabla 5.15. Composición química de la muestra M4-2-C

Bruker Analysis Report



Sample:	M4-2-C				
Analysis Time:	25.01.2023 11:43:03	Method:	Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,194	0,249	0,054	0,351	0,929
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,091	<0,0050	0,016	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0052	<0,0020	0,0061	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Tabla 5.16. Composición química de la muestra M4-2-D

Bruker Analysis Report



Sample: M4-2-D					
Analysis Time: 25.01.2023 11:45:10			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,206	0,266	0,051	0,317	0,912
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,084	<0,0050	0,014	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0052	<0,0020	0,0054	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,016	0,0014
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,09			

Tabla 5.17. Composición química de la muestra M7-1-A

Bruker Analysis Report



Sample: M7-1-A					
Analysis Time: 25.01.2023 11:47:45			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,175	0,247	0,053	0,349	0,930
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,091	<0,0050	0,015	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0054	<0,0020	0,0061	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0064	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			

Tabla 5.18. Composición química de la muestra M7-1-B

Bruker Analysis Report



Sample: M7-1-B					
Analysis Time: 25.01.2023 11:49:38			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,187	0,247	0,054	0,354	0,949
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,097	<0,0050	0,017	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0049	<0,0020	0,0064	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			

Tabla 5.19. Composición química de la muestra M7-1-C

Bruker Analysis Report



Sample: M7-1-C					
Analysis Time: 25.01.2023 11:53:27			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,174	0,240	0,053	0,357	0,933
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,094	<0,0050	0,015	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	<0,0020	0,0060	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,06			

Tabla 5.20. Composición química de la muestra M7-1-D

Bruker Analysis Report



Sample: M7-1-D					
Analysis Time: 25.01.2023 12:03:55			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,194	0,283	0,052	0,319	0,896
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,085	<0,0050	0,013	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0054	<0,0020	0,0052	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,014	0,0014
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,10			

Tabla 5.21. Composición química de la muestra M7-2-A

Bruker Analysis Report



Sample: M7-2-A					
Analysis Time: 25.01.2023 12:05:30			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,199	0,285	0,051	0,314	0,887
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,081	<0,0050	0,014	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0055	<0,0020	0,0048	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,018	0,0017
	Li [%]	Al [%]			

Tabla 5.22. Composición química de la muestra M7-2-B

Bruker Analysis Report



Sample: M7-2-B					
Analysis Time: 25.01.2023 12:08:00			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,207	0,267	0,052	0,329	0,903
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,088	<0,0050	0,013	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0052	<0,0020	0,0050	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,012	0,0013
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,08			

Tabla 5.23. Composición química de la muestra M7-2-C

Bruker Analysis Report



Sample: M7-2-C					
Analysis Time: 25.01.2023 12:10:01			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,164	0,243	0,051	0,337	0,922
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,091	<0,0050	0,016	0,027	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0049	<0,0020	0,0056	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0061	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,12			

Tabla 5.24. Composición química de la muestra M7-2-D

Bruker Analysis Report



Sample: M7-2-D					
Analysis Time: 25.01.2023 12:11:39			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,220	0,277	0,051	0,318	0,903
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,087	<0,0050	0,014	0,024	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0046	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,014	0,0016
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,07			

Tabla 5.25. Composición química de la muestra M9-1-A

Bruker Analysis Report



Sample: M9-1-A					
Analysis Time: 25.01.2023 12:25:14			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,182	0,251	0,051	0,349	0,920
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,098	<0,0050	0,016	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0050	<0,0020	0,0058	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,07			

Tabla 5.26. Composición química de la muestra M9-1-B

Bruker Analysis Report



Sample: M9-1-B					
Analysis Time: 25.01.2023 12:27:14			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,199	0,279	0,051	0,334	0,915
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,091	<0,0050	0,015	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0052	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,017	0,0014
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Tabla 5.27. Composición química de la muestra M9-1-C

Bruker Analysis Report



Sample: M9-1-C					
Analysis Time: 25.01.2023 12:28:50			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,188	0,289	0,050	0,321	0,883
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,084	<0,0050	0,013	0,023	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0054	<0,0020	0,0048	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,025	0,0019
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,11			

Tabla 5.28. Composición química de la muestra M9-1-D

Bruker Analysis Report



Sample: M9-1-D					
Analysis Time: 25.01.2023 12:30:20			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,202	0,286	0,051	0,328	0,886
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,083	<0,0050	0,014	0,023	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0052	<0,0020	0,0048	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,020	0,0018
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,09			

Tabla 5.29. Composición química de la muestra M9-2-A

Bruker Analysis Report



Sample: M9-2-A					
Analysis Time: 25.01.2023 12:14:07			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,222	0,288	0,049	0,307	0,889
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,087	<0,0050	0,014	0,024	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0050	<0,0020	0,0048	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,021	0,0016
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,08			

Tabla 5.30. Composición química de la muestra M9-2-B

Bruker Analysis Report



Sample: M9-2-B					
Analysis Time: 25.01.2023 12:19:27			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,187	0,275	0,050	0,325	0,885
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,091	<0,0050	0,015	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0050	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,011	0,0013
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,11			

Tabla 5.31. Composición química de la muestra M9-2-C

Bruker Analysis Report



Sample: M9-2-C					
Analysis Time: 25.01.2023 12:21:37			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,260	0,300	0,051	0,316	0,895
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,082	<0,0050	0,014	0,022	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0056	<0,0020	0,0050	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,019	0,0022
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,02			

Tabla 5.32. Composición química de la muestra M9-2-D

Bruker Analysis Report



Sample: M9-2-D					
Analysis Time: 25.01.2023 12:23:33			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,184	0,257	0,052	0,339	0,914
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,093	<0,0050	0,016	0,026	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0048	<0,0020	0,0052	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,011	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,09			

Tabla 5.33. Composición química de la muestra M10-1-A

Bruker Analysis Report



Sample: M10-1-A					
Analysis Time: 25.01.2023 12:32:11			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,206	0,273	0,052	0,331	0,898
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,090	<0,0050	0,015	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	<0,0020	0,0055	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,013	0,0015
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,08			

Tabla 5.34. Composición química de la muestra M10-1-B

Bruker Analysis Report



Sample: M10-1-B					
Analysis Time: 25.01.2023 12:33:45			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,181	0,269	0,053	0,344	0,892
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,091	<0,0050	0,014	0,026	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0057	<0,0020	0,0057	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0096	0,0013
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,09			


Tabla 5.35. Composición química de la muestra M10-1-C

Bruker Analysis Report



Sample: M10-1-C					
Analysis Time: 25.01.2023 12:35:14			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,231	0,283	0,052	0,343	0,905
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,091	<0,0050	0,016	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0055	<0,0020	0,0051	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,014	0,0014
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,01			


Tabla 5.36. Composición química de la muestra M10-1-D

Bruker Analysis Report 

Sample: M10-1-D
 Analysis Time: 25.01.2023 12:36:34 Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,210	0,269	0,054	0,354	0,928
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,093	<0,0050	0,016	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0052	<0,0020	0,0056	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,013	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,02			

Tabla 5.37. Composición química de la muestra M10-2-A

Bruker Analysis Report 

Sample: M10-2-A
 Analysis Time: 25.01.2023 12:37:52 Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,195	0,285	0,050	0,331	0,892
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,089	<0,0050	0,014	0,024	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0056	<0,0020	0,0050	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,017	0,0016
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,08			

Tabla 5.38. Composición química de la muestra M10-2-B

Bruker Analysis Report



Sample: M10-2-B					
Analysis Time: 25.01.2023 12:39:29			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,186	0,263	0,050	0,345	0,901
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,094	<0,0050	0,016	0,024	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0049	<0,0020	0,0053	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,015	0,0013
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,09			

Tabla 5.39. Composición química de la muestra M10-2-C

Bruker Analysis Report



Sample: M10-2-C					
Analysis Time: 25.01.2023 12:40:55			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,194	0,266	0,052	0,355	0,914
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,097	<0,0050	0,016	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0048	<0,0020	0,0054	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,011	0,0011
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Tabla 5.40. Composición química de la muestra M10-2-D

Bruker Analysis Report



Sample: M10-2-D					
Analysis Time: 25.01.2023 12:42:21			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,215	0,295	0,051	0,335	0,885
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,087	<0,0050	0,014	0,023	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0057	<0,0020	0,0051	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,021	0,0019
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Los informes presentados a continuación corresponden a los análisis realizados en el espectrómetro de chispa del DEMEX, en cada tabla se reportan las cuatro lecturas de la composición química resultantes de cada chispazo aplicado en una de las caras de la probeta.

Tabla 5.41. Composición química de la muestra 1, para cada uno de los cuatro chispazos aplicados en la cara superior.

Metales	Muestra 1 (lado 1)			
	(%)			
Silicio (Si)	1,325	1,360	1,384	1,361
Hierro (Fe)	0,277	0,217	0,226	0,213
Cobre (Cu)	0,053	0,049	0,051	0,050
Manganeso (Mn)	0,439	0,435	0,439	0,432
Magnesio (Mg)	0,639	0,621	0,640	0,634
Cromo (Cr)	0,140	0,138	0,138	0,137
Zinc (Zn)	0,025	0,025	0,026	0,025
Titanio (Ti)	0,027	0,028	0,026	0,027
Galio (Ga)	0,010	0,011	0,011	0,011
Vanadio (V)	0,004	0,005	0,004	0,004
Aluminio (Al)	97,09	97,09	97,03	97,08

Tabla 5.42. Composición química de la muestra 1, para cada uno de los cuatro chispazos aplicados en la cara inferior.

Metales	Muestra 1 (lado 2)			
	(%)			
Silicio (Si)	1,334	1,312	1,321	1,307
Hierro (Fe)	0,215	0,219	0,220	0,215
Cobre (Cu)	0,050	0,050	0,049	0,049
Manganeso (Mn)	0,430	0,437	0,437	0,437
Magnesio (Mg)	0,640	0,633	0,649	0,660
Cromo (Cr)	0,136	0,138	0,139	0,141
Zinc (Zn)	0,026	0,025	0,026	0,028
Titanio (Ti)	0,026	0,027	0,026	0,025
Galio (Ga)	0,012	0,012	0,010	0,010
Vanadio (V)	0,003	0,004	0,004	0,004
Aluminio (Al)	97,11	97,11	97,10	97,10

Tabla 5.43. Composición química de la muestra 4, para cada uno de los cuatro chispazos aplicados en la cara superior.

Metales	Muestra 4 (lado 1)			
	(%)			
Silicio (Si)	1,292	1,369	1,334	1,330
Hierro (Fe)	0,218	0,214	0,216	0,218
Cobre (Cu)	0,049	0,049	0,048	0,048
Manganeso (Mn)	0,440	0,437	0,443	0,438
Magnesio (Mg)	0,638	0,652	0,644	0,657
Cromo (Cr)	0,137	0,139	0,139	0,141
Zinc (Zn)	0,024	0,025	0,026	0,026
Titanio (Ti)	0,026	0,027	0,026	0,028
Galio (Ga)	0,009	0,011	0,009	0,009
Vanadio (V)	0,004	0,004	0,004	0,004
Aluminio (Al)	97,14	97,05	97,08	97,08

Tabla 5.44. Composición química de la muestra 4, para cada uno de los cuatro chispazos aplicados en la cara inferior.

Metales	Muestra 4 (lado 2)			
	(%)			
Silicio (Si)	1,317	1,312	1,308	1,322
Hierro (Fe)	0,223	0,211	0,224	0,224
Cobre (Cu)	0,054	0,049	0,050	0,052
Manganeso (Mn)	0,439	0,432	0,439	0,439
Magnesio (Mg)	0,634	0,643	0,649	0,645
Cromo (Cr)	0,138	0,136	0,138	0,136
Zinc (Zn)	0,025	0,025	0,025	0,024
Titanio (Ti)	0,031	0,026	0,028	0,026
Galio (Ga)	0,012	0,011	0,011	0,010
Vanadio (V)	0,004	0,004	0,004	0,005
Aluminio (Al)	97,09	97,13	97,10	97,09

Tabla 5.45. Composición química de la muestra 7, para cada uno de los cuatro chispazos aplicados en la cara superior.

Metales	Muestra 7 (lado 1)			
	(%)			
Silicio (Si)	1,347	1,313	1,285	1,313
Hierro (Fe)	0,235	0,230	0,231	0,226
Cobre (Cu)	0,054	0,052	0,051	0,050
Manganeso (Mn)	0,438	0,438	0,446	0,439
Magnesio (Mg)	0,640	0,646	0,663	0,658
Cromo (Cr)	0,140	0,138	0,139	0,140
Zinc (Zn)	0,025	0,025	0,026	0,026
Titanio (Ti)	0,027	0,027	0,027	0,027
Galio (Ga)	0,011	0,010	0,010	0,012
Vanadio (V)	0,005	0,005	0,005	0,005
Aluminio (Al)	97,06	97,09	97,10	97,010

Tabla 5.46. Composición química de la muestra 7, para cada uno de los cuatro chispazos aplicados en la cara inferior.

Metales	Muestra 7 (lado 2)			
	(%)			
Silicio (Si)	1,320	1,354	1,339	1,344
Hierro (Fe)	0,226	0,220	0,217	0,225
Cobre (Cu)	0,053	0,050	0,050	0,051
Manganeso (Mn)	0,435	0,435	0,435	0,435
Magnesio (Mg)	0,638	0,639	0,664	0,646
Cromo (Cr)	0,136	0,138	0,139	0,140
Zinc (Zn)	0,023	0,024	0,025	0,025
Titanio (Ti)	0,027	0,027	0,026	0,028
Galio (Ga)	0,009	0,007	0,008	0,008
Vanadio (V)	0,004	0,005	0,004	0,004
Aluminio (Al)	97,10	97,08	97,07	97,07

Tabla 5.47. Composición química de la muestra 9, para cada uno de los cuatro chispazos aplicados en la cara superior.

Metales	Muestra 9 (lado 1)			
	(%)			
Silicio (Si)	1,383	1,329	1,315	1,357
Hierro (Fe)	0,225	0,229	0,227	0,226
Cobre (Cu)	0,055	0,052	0,051	0,051
Manganeso (Mn)	0,435	0,444	0,441	0,439
Magnesio (Mg)	0,621	0,641	0,639	0,645
Cromo (Cr)	0,137	0,137	0,137	0,140
Zinc (Zn)	0,023	0,024	0,024	0,024
Titanio (Ti)	0,029	0,028	0,028	0,027
Galio (Ga)	0,009	0,010	0,011	0,007
Vanadio (V)	0,005	0,006	0,005	0,005
Aluminio (Al)	97,05	97,08	97,09	97,6

Tabla 5.48. Composición química de la muestra 9, para cada uno de los cuatro chispazos aplicados en la cara inferior.

Metales	Muestra 9 (lado 2)			
	(%)			
Silicio (Si)	1,360	1,366	1,307	1,316
Hierro (Fe)	0,226	0,224	0,220	0,220
Cobre (Cu)	0,051	0,051	0,050	0,051
Manganeso (Mn)	0,443	0,435	0,432	0,436
Magnesio (Mg)	0,646	0,643	0,642	0,664
Cromo (Cr)	0,139	0,139	0,139	0,124
Zinc (Zn)	0,024	0,023	0,024	0,025
Titanio (Ti)	0,027	0,027	0,027	0,027
Galio (Ga)	0,007	0,007	0,008	0,006
Vanadio (V)	0,005	0,004	0,004	0,005
Aluminio (Al)	97,05	97,06	97,03	97,08

Tabla 5.49. Composición química de la muestra 10, para cada uno de los cuatro chispazos aplicados en la cara superior.

Metales	Muestra 10 (lado 1)			
	(%)			
Silicio (Si)	1,386	1,344	1,313	1,380
Hierro (Fe)	0,219	0,224	0,221	0,223
Cobre (Cu)	0,052	0,052	0,050	0,049
Manganeso (Mn)	0,444	0,440	0,435	0,437
Magnesio (Mg)	0,626	0,654	0,649	0,633
Cromo (Cr)	0,135	0,137	0,142	0,139
Zinc (Zn)	0,022	0,023	0,024	0,023
Titanio (Ti)	0,027	0,027	0,029	0,027
Galio (Ga)	0,008	0,008	0,008	0,008
Vanadio (V)	0,004	0,005	0,004	0,004
Aluminio (Al)	97,05	97,06	97,10	97,05

Tabla 5.50. Composición química de la muestra 10, para cada uno de los cuatro chispazos aplicados en la cara inferior.

Metales	Muestra 10 (lado 2)			
	(%)			
Silicio (Si)	1,331	1,301	1,308	1,347
Hierro (Fe)	0,221	0,229	0,230	0,221
Cobre (Cu)	0,053	0,052	0,051	0,050
Manganeso (Mn)	0,440	0,442	0,440	0,436
Magnesio (Mg)	0,642	0,645	0,655	0,651
Cromo (Cr)	0,135	0,138	0,140	0,139
Zinc (Zn)	0,023	0,023	0,024	0,024
Titanio (Ti)	0,027	0,027	0,026	0,027
Galio (Ga)	0,009	0,009	0,008	0,008
Vanadio (V)	0,005	0,006	0,005	0,006
Aluminio (Al)	97,09	97,11	97,09	97,07

5.2 Anexo II. Datos para el estudio R & R (repetitividad y reproducibilidad)

Los informes presentados a continuación corresponden a los análisis realizados en el espectrómetro de chispa del Laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica, para la correcta identificación de cada ensayo se usó la siguiente codificación; las dos primeras letras (**LH, OS o MM**) corresponden a las iniciales de los nombres de cada uno de los tres operadores (Ingenieros Luis Huilca, Oscar Sotomayor y Mauricio Moreno), **1** el primer número significa el número de chispazo realizado sobre la probeta, la tercera letra acompañada de un número (**M1**) significa el número de probeta. El código **LH1-M1** indica que el operador es el Ing. Luis Huilca (**LH**), se realizó el primer chispazo (**1**) sobre la probeta número uno (**M1**).

Tabla 5.51. Composición química de la muestra LH1-M1

Bruker Analysis Report

Sample:	LH1-M1		
Analysis Time:	01.02.2023 15:08:53	Method:	Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,125	0,236	0,051	0,400	0,938
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,096	<0,0050	0,016	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0055	<0,0020	0,0067	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0095	0,0017
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,06			

Tabla 5.52. Composición química de la muestra LH1-M2

Bruker Analysis Report



Sample: LH1-M2

Analysis Time: 01.02.2023 15:12:00

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,169	0,388	0,085	0,387	0,935
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,086	<0,0050	0,030	0,024	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0059	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,018	0,0018
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,86			

Tabla 5.53. Composición química de la muestra LH1-M3

Bruker Analysis Report



Sample: LH1-M3

Analysis Time: 01.02.2023 15:22:41

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,158	0,241	0,054	0,437	0,970
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,092	0,0051	0,016	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	<0,0020	0,0070	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0020
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,97			

Tabla 5.54. Composición química de la muestra LH1-M4

Bruker Analysis Report



Sample:	LH1-M4				
Analysis Time:	01.02.2023 15:18:41			Method: Al100	
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,187	0,271	0,051	0,372	0,900
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,079	<0,0050	0,014	0,024	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	<0,0020	0,0059	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,018	0,0024
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,06			

Tabla 5.55. Composición química de la muestra LH1-M5

Bruker Analysis Report



Sample:	LH1-M5				
Analysis Time:	01.02.2023 15:24:03			Method: Al100	
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,177	0,265	0,051	0,372	0,910
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,078	<0,0050	0,014	0,024	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0058	<0,0020	0,0059	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,020	0,0025
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,06			

Tabla 5.56. Composición química de la muestra LH1-M6

Bruker Analysis Report



Sample:	LH1-M6				
Analysis Time:	01.02.2023 15:17:06			Method: Al100	
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,140	0,239	0,054	0,440	0,965
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,094	<0,0050	0,017	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	<0,0020	0,0075	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,98			

Tabla 5.57. Composición química de la muestra LH1-M7

Bruker Analysis Report



Sample:	LH1-M7				
Analysis Time:	01.02.2023 15:21:19			Method: Al100	
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,188	0,278	0,052	0,379	0,911
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,080	<0,0050	0,015	0,024	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0054	<0,0020	0,0062	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,015	0,0023
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,03			

Tabla 5.58. Composición química de la muestra LH1-M8

Bruker Analysis Report



Sample:	LH1-M8				
Analysis Time:	01.02.2023 15:19:55	Method:	Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,147	0,250	0,054	0,393	0,909
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,085	<0,0050	0,015	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0054	<0,0020	0,0066	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0087	0,0017
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,08			

Tabla 5.59. Composición química de la muestra LH1-M9

Bruker Analysis Report



Sample:	LH1-M9				
Analysis Time:	01.02.2023 15:10:33	Method:	Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,188	0,286	0,051	0,365	0,892
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,081	<0,0050	0,013	0,022	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0058	<0,0020	0,0055	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,023	0,0025
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Tabla 5.60. Composición química de la muestra LH1-M10

Bruker Analysis Report



Sample: LH1-M10					
Analysis Time: 01.02.2023 15:13:34			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,164	0,284	0,055	0,379	0,904
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,082	<0,0050	0,014	0,024	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	<0,0020	0,0058	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,014	0,0021
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,06			

Tabla 5.61. Composición química de la muestra LH2-M1

Bruker Analysis Report



Sample: LH2-M1					
Analysis Time: 01.02.2023 16:23:18			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,156	0,258	0,051	0,365	0,931
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,089	<0,0050	0,015	0,027	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0057	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0088	0,0019
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,07			

Tabla 5.62. Composición química de la muestra LH2-M2

Bruker Analysis Report



Sample: LH2-M2

Analysis Time: 01.02.2023 16:19:14

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,133	0,244	0,053	0,397	0,971
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,095	<0,0050	0,016	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0067	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0015
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,03			

Tabla 5.63. Composición química de la muestra LH2-M3

Bruker Analysis Report



Sample: LH2-M3

Analysis Time: 01.02.2023 16:21:56

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,134	0,252	0,052	0,362	0,914
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,085	<0,0050	0,013	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0058	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0085	0,0024
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,12			

Tabla 5.64. Composición química de la muestra LH2-M4

Bruker Analysis Report



Sample: LH2-M4

Analysis Time: 01.02.2023 16:09:25

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,150	0,245	0,051	0,383	0,949
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,091	<0,0050	0,015	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0049	<0,0020	0,0063	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0081	0,0013
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Tabla 5.65. Composición química de la muestra LH2-M5

Bruker Analysis Report



Sample: LH2-M5

Analysis Time: 01.02.2023 16:16:25

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,151	0,242	0,053	0,377	0,935
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,089	<0,0050	0,015	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0048	<0,0020	0,0059	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0094	0,0018
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,08			

Tabla 5.66. Composición química de la muestra LH2-M6

Bruker Analysis Report



Sample: LH2-M6

Analysis Time: 01.02.2023 16:17:48

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,183	0,279	0,051	0,352	0,900
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,084	<0,0050	0,014	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	<0,0020	0,0054	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,018	0,0025
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,07			

Tabla 5.67. Composición química de la muestra LH2-M7

Bruker Analysis Report



Sample: LH2-M7

Analysis Time: 01.02.2023 16:12:07

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,151	0,296	0,050	0,337	0,876
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,074	<0,0050	0,012	0,022	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0057	<0,0020	0,0047	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,020	0,0024
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,14			

Tabla 5.68. Composición química de la muestra LH2-M8

Bruker Analysis Report



Sample: LH2-M8

Analysis Time: 01.02.2023 16:20:39

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,163	0,268	0,052	0,362	0,899
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,084	<0,0050	0,014	0,026	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0056	<0,0020	0,0058	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,014	0,0020
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,09			

Tabla 5.69. Composición química de la muestra LH2-M9

Bruker Analysis Report



Sample: LH2-M9

Analysis Time: 01.02.2023 16:13:48

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,152	0,264	0,050	0,352	0,898
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,084	<0,0050	0,014	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	<0,0020	0,0055	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,016	0,0018
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,11			

Tabla 5.70. Composición química de la muestra LH2-M10

Bruker Analysis Report



Sample: LH2-M10					
Analysis Time: 01.02.2023 16:15:02			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,205	0,288	0,051	0,349	0,902
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,081	<0,0050	0,013	0,024	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0057	<0,0020	0,0054	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,015	0,0021
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Tabla 5.71. Composición química de la muestra LH3-M1

Bruker Analysis Report



Sample: LH3-M1					
Analysis Time: 01.02.2023 17:05:58			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,191	0,264	0,050	0,355	0,899
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,091	<0,0050	0,014	0,026	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0056	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,014	0,0022
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,07			

Tabla 5.72. Composición química de la muestra LH3-M2

Bruker Analysis Report



Sample: LH3-M2					
Analysis Time: 01.02.2023 17:00:34			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,152	0,246	0,052	0,385	0,934
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,100	<0,0050	0,016	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0049	<0,0020	0,0068	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0016
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Tabla 5.73. Composición química de la muestra LH3-M3

Bruker Analysis Report



Sample: LH3-M3					
Analysis Time: 01.02.2023 17:02:38			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,211	0,272	0,052	0,357	0,901
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,091	<0,0050	0,014	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0055	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,014	0,0019
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,04			

Tabla 5.74. Composición química de la muestra LH3-M4

Bruker Analysis Report



Sample: LH3-M4					
Analysis Time: 01.02.2023 17:01:36			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,154	0,257	0,050	0,354	0,904
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,093	<0,0050	0,015	0,026	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0048	<0,0020	0,0057	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,012	0,0020
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,11			

Tabla 5.75. Composición química de la muestra LH3-M5

Bruker Analysis Report



Sample: LH3-M5					
Analysis Time: 01.02.2023 16:58:31			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,197	0,245	0,052	0,373	0,934
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,101	<0,0050	0,017	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0049	<0,0020	0,0061	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0075	0,0014
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,02			

Tabla 5.76. Composición química de la muestra LH3-M6

Bruker Analysis Report



Sample: LH3-M6					
Analysis Time: 01.02.2023 16:59:29			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,190	0,285	0,050	0,340	0,869
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,087	<0,0050	0,013	0,025	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0056	<0,0020	0,0051	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,014	0,0025
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,10			

Tabla 5.77. Composición química de la muestra LH3-M7

Bruker Analysis Report



Sample: LH3-M7					
Analysis Time: 01.02.2023 17:03:46			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,226	0,305	0,050	0,340	0,877
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,087	<0,0050	0,014	0,024	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0055	<0,0020	0,0050	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,020	0,0041
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,03			

Tabla 5.78. Composición química de la muestra LH3-M8

Bruker Analysis Report



Sample: LH3-M8					
Analysis Time: 01.02.2023 17:06:58			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,219	0,298	0,049	0,337	0,871
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,086	<0,0050	0,014	0,024	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	<0,0020	0,0052	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,020	0,0022
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,06			

Tabla 5.79. Composición química de la muestra LH3-M9

Bruker Analysis Report



Sample: LH3-M9					
Analysis Time: 01.02.2023 17:04:52			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,194	0,274	0,051	0,355	0,900
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,093	<0,0050	0,015	0,026	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	<0,0020	0,0057	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,014	0,0018
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Tabla 5.80. Composición química de la muestra LH3-M10

Bruker Analysis Report



Sample: LH3-M10					
Analysis Time: 01.02.2023 16:57:29			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,186	0,287	0,052	0,358	0,901
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,097	<0,0050	0,016	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0056	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0095	0,030
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,01			

Tabla 5.81. Composición química de la muestra OS1-M1

Bruker Analysis Report



Sample: OS1-M1					
Analysis Time: 01.02.2023 15:40:15			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,131	0,235	0,053	0,406	0,983
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,092	<0,0050	0,016	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0049	<0,0020	0,0071	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,02			

Tabla 5.82. Composición química de la muestra OS1-M2

Bruker Analysis Report



Sample: OS1-M2					
Analysis Time: 01.02.2023 15:42:00			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,117	0,234	0,053	0,414	0,977
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,090	<0,0050	0,015	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0050	<0,0020	0,0069	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,04			

Tabla 5.83. Composición química de la muestra OS1-M3

Bruker Analysis Report



Sample: OS1-M3					
Analysis Time: 01.02.2023 15:37:27			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,132	0,242	0,055	0,435	0,982
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,094	0,0051	0,016	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0055	<0,0020	0,0076	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,97			

Tabla 5.84. Composición química de la muestra OS1-M4

Bruker Analysis Report



Sample: OS1-M4

Analysis Time: 01.02.2023 15:35:47

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,102	0,235	0,054	0,425	0,971
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,091	<0,0050	0,016	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0050	<0,0020	0,0074	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,03			

Tabla 5.85. Composición química de la muestra OS1-M5

Bruker Analysis Report



Sample: OS1-M5

Analysis Time: 01.02.2023 15:32:43

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,132	0,233	0,051	0,386	0,935
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,090	<0,0050	0,015	0,026	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0054	<0,0020	0,0062	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0100	0,0017
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,09			

Tabla 5.86. Composición química de la muestra OS1-M6

Bruker Analysis Report



Sample: OS1-M6					
Analysis Time: 01.02.2023 15:38:52			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,136	0,238	0,053	0,410	0,986
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,091	<0,0050	0,016	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0049	<0,0020	0,0073	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0014
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,00			

Tabla 5.87. Composición química de la muestra OS1-M7

Bruker Analysis Report



Sample: OS1-M7					
Analysis Time: 01.02.2023 15:34:14			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,119	0,236	0,058	0,423	0,975
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,091	<0,0050	0,017	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0072	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0019
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,02			

Tabla 5.88. Composición química de la muestra OS1-M8

Bruker Analysis Report



Sample:		OS1-M8			
Analysis Time:		01.02.2023 15:29:52		Method: AI100	
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,106	0,226	0,054	0,428	0,988
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,090	<0,0050	0,015	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	0,0021	0,0075	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0011
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,02			

Tabla 5.89. Composición química de la muestra OS1-M9

Bruker Analysis Report



Sample:		OS1-M9			
Analysis Time:		01.02.2023 15:43:07		Method: AI100	
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,143	0,228	0,052	0,410	0,967
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,092	<0,0050	0,016	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0071	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0014
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,03			

Tabla 5.90. Composición química de la muestra OS1-M10

Bruker Analysis Report



Sample:

Analysis Time: 01.02.2023 15:27:32

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,125	0,239	0,054	0,431	0,977
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,090	0,0052	0,015	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	<0,0020	0,0075	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0015
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,00			

Tabla 5.91. Composición química de la muestra OS2-M1

Bruker Analysis Report



Sample: OS2-M1

Analysis Time: 01.02.2023 16:27:01

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,147	0,242	0,052	0,386	0,988
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,098	<0,0050	0,016	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0045	<0,0020	0,0063	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0011
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,01			

Tabla 5.92. Composición química de la muestra OS2-M2

Bruker Analysis Report



Sample: OS2-M2

Analysis Time: 01.02.2023 16:30:37

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,144	0,233	0,052	0,383	0,970
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,101	<0,0050	0,016	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0045	<0,0020	0,0060	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Tabla 5.93. Composición química de la muestra OS2-M3

Bruker Analysis Report



Sample: OS2-M3

Analysis Time: 01.02.2023 16:40:15

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,138	0,237	0,052	0,386	0,949
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,103	<0,0050	0,016	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0046	<0,0020	0,0067	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,06			

Tabla 5.94. Composición química de la muestra OS2-M4

Bruker Analysis Report



Sample: OS2-M4					
Analysis Time: 01.02.2023 16:42:04			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,128	0,236	0,052	0,395	0,951
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,101	<0,0050	0,016	0,031	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0047	0,0021	0,0065	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Tabla 5.95. Composición química de la muestra OS2-M5

Bruker Analysis Report



Sample: OS2-M5					
Analysis Time: 01.02.2023 16:24:52			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,136	0,236	0,053	0,400	0,977
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,097	<0,0050	0,015	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0047	<0,0020	0,0066	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,02			

Tabla 5.96. Composición química de la muestra OS2-M6

Bruker Analysis Report



Sample: OS2-M6					
Analysis Time: 01.02.2023 16:32:35			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,165	0,245	0,053	0,402	0,959
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,105	<0,0050	0,018	0,032	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0050	<0,0020	0,0069	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0011
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,98			

Tabla 5.97. Composición química de la muestra OS2-M7

Bruker Analysis Report



Sample: OS2-M7					
Analysis Time: 01.02.2023 16:37:12			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,130	0,246	0,052	0,391	0,966
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,103	<0,0050	0,016	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0049	0,0022	0,0067	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,02			

Tabla 5.98. Composición química de la muestra OS2-M8

Bruker Analysis Report



Sample: OS2-M8

Analysis Time: 01.02.2023 16:29:12

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,134	0,230	0,052	0,385	0,961
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,099	<0,0050	0,016	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0052	0,0021	0,0066	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	<0,0010
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Tabla 5.99. Composición química de la muestra OS2-M9

Bruker Analysis Report



Sample: OS2-M9

Analysis Time: 01.02.2023 16:38:50

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,162	0,239	0,052	0,382	0,962
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,104	<0,0050	0,017	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0047	<0,0020	0,0066	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,02			

Tabla 5100. Composición química de la muestra OS2-M10

Bruker Analysis Report



Sample: OS2-M10

Analysis Time: 01.02.2023 16:33:52

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,139	0,232	0,053	0,392	0,934
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,103	<0,0050	0,016	0,033	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0052	<0,0020	0,0071	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0011
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Tabla 5.101. Composición química de la muestra OS3-M1

Bruker Analysis Report



Sample: OS3-M1

Analysis Time: 01.02.2023 17:13:33

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,161	0,238	0,054	0,408	0,959
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,107	<0,0050	0,017	0,031	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0048	0,0021	0,0070	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0022
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,99			

Tabla 5.102. Composición química de la muestra OS3-M2

Bruker Analysis Report



Sample: OS3-M2

Analysis Time: 01.02.2023 17:19:34

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,150	0,243	0,055	0,403	0,925
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,105	<0,0050	0,018	0,031	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	0,0021	0,0070	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0016
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,03			

Tabla 5.103. Composición química de la muestra OS3-M3

Bruker Analysis Report



Sample: OS3-M3

Analysis Time: 01.02.2023 17:17:02

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,202	0,271	0,051	0,369	0,923
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,100	<0,0050	0,016	0,027	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0045	<0,0020	0,0061	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0092	0,0017
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,01			

Tabla 5.104. Composición química de la muestra OS3-M4

Bruker Analysis Report



Sample: OS3-M4

Analysis Time: 01.02.2023 17:08:38

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,162	0,236	0,054	0,397	0,956
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,106	<0,0050	0,018	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0048	<0,0020	0,0069	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0024
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,01			

Tabla 5.105. Composición química de la muestra OS3-M5

Bruker Analysis Report



Sample: OS3-M5

Analysis Time: 01.02.2023 17:18:08

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,210	0,264	0,052	0,370	0,917
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,096	<0,0050	0,015	0,026	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0047	<0,0020	0,0056	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0092	0,0059
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,02			

Tabla 5.106. Composición química de la muestra OS3-M6

Bruker Analysis Report



Sample: OS3-M6

Analysis Time: 01.02.2023 17:14:41

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,157	0,233	0,053	0,403	0,955
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,107	<0,0050	0,017	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0050	0,0021	0,0070	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0014
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,00			

Tabla 5.107. Composición química de la muestra OS3-M7

Bruker Analysis Report



Sample: OS3-M7

Analysis Time: 01.02.2023 17:15:49

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,167	0,250	0,053	0,398	0,968
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,105	<0,0050	0,017	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0049	0,0021	0,0065	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0019
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,98			

Tabla 5.108. Composición química de la muestra OS3-M8

Bruker Analysis Report



Sample: OS3-M8					
Analysis Time: 01.02.2023 17:10:06			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,157	0,251	0,052	0,389	0,947
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,106	<0,0050	0,017	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0049	<0,0020	0,0066	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0017
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,02			

Tabla 5.109. Composición química de la muestra OS3-M9

Bruker Analysis Report



Sample: OS3-M9					
Analysis Time: 01.02.2023 17:12:16			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,147	0,240	0,052	0,389	0,940
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,105	<0,0050	0,016	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0047	<0,0020	0,0065	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0064	0,0017
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Tabla 5.110. Composición química de la muestra OS3-M10

Bruker Analysis Report



Sample: OS3-M10					
Analysis Time: 01.02.2023 17:11:11			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,189	0,238	0,051	0,381	0,949
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,108	<0,0050	0,017	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0042	<0,0020	0,0062	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0015
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,01			

Tabla 5.111. Composición química de la muestra MM1-M1

Bruker Analysis Report



Sample: MM1-M1					
Analysis Time: 01.02.2023 14:57:17			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,163	0,265	0,057	0,460	0,993
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,104	<0,0050	0,017	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0053	<0,0020	0,0075	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0016
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,88			

Tabla 5.112. Composición química de la muestra MM1-M2

Bruker Analysis Report



Sample: MM1-M2					
Analysis Time: 01.02.2023 15:03:22			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,154	0,274	0,054	0,413	0,959
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,095	<0,0050	0,013	0,026	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0049	<0,0020	0,0063	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,011	0,0020
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,98			

Tabla 5.113. Composición química de la muestra MM1-M3

Bruker Analysis Report



Sample: MM1-M3					
Analysis Time: 01.02.2023 14:51:26			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,203	0,254	0,057	0,459	1,003
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,105	<0,0050	0,015	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0050	<0,0020	0,0072	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0018
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,85			

Tabla 5.114. Composición química de la muestra MM1-M4

Bruker Analysis Report



Sample: MM1-M4					
Analysis Time: 01.02.2023 15:00:06			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,147	0,263	0,054	0,434	0,993
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,100	<0,0050	0,017	0,027	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0046	<0,0020	0,0069	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0016
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,94			

Tabla 5.115. Composición química de la muestra MM1-M5

Bruker Analysis Report



Sample: MM1-M5					
Analysis Time: 01.02.2023 14:49:11			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,189	0,262	0,061	0,456	0,946
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,106	<0,0050	0,016	0,031	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0056	<0,0020	0,0077	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0025
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,90			

Tabla 5.116. Composición química de la muestra MM1-M6

Bruker Analysis Report



Sample: MM1-M6

Analysis Time: 01.02.2023 15:04:44

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,125	0,234	0,054	0,439	0,967
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,097	<0,0050	0,017	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0074	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0015
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,00			

Tabla 5.117. Composición química de la muestra MM1-M7

Bruker Analysis Report



Sample: MM1-M7

Analysis Time: 01.02.2023 15:06:33

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,166	0,258	0,054	0,437	0,958
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,095	<0,0050	0,016	0,027	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0055	<0,0020	0,0070	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,96			

Tabla 5.118. Composición química de la muestra MM1-M8

Bruker Analysis Report



Sample: MM1-M8					
Analysis Time: 01.02.2023 14:55:10			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,155	0,246	0,058	0,447	0,979
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,103	<0,0050	0,015	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0052	<0,0020	0,0076	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0013
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,94			

Tabla 5.119. Composición química de la muestra MM1-M9

Bruker Analysis Report



Sample: MM1-M9					
Analysis Time: 01.02.2023 15:01:56			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,147	0,248	0,055	0,437	0,988
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,099	<0,0050	0,017	0,027	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0069	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0011
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,95			

Tabla 5.120. Composición química de la muestra MM1-M10

Bruker Analysis Report



Sample: MM1-M10					
Analysis Time: 01.02.2023 14:53:24			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,186	0,255	0,058	0,455	0,989
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,102	<0,0050	0,015	0,027	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0050	<0,0020	0,0075	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0016
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,89			

Tabla 5.121. Composición química de la muestra MM2-M1

Bruker Analysis Report



Sample: MM2-M1					
Analysis Time: 01.02.2023 15:56:41			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,146	0,230	0,053	0,397	0,966
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,092	<0,0050	0,016	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0049	<0,0020	0,0069	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,03			

Tabla 5.122. Composición química de la muestra MM2-M2

Bruker Analysis Report



Sample: MM2-M2					
Analysis Time: 01.02.2023 16:00:02			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,111	0,227	0,053	0,402	0,967
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,093	<0,0050	0,015	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0065	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,06			

Tabla 5.123. Composición química de la muestra MM2-M3

Bruker Analysis Report



Sample: MM2-M3					
Analysis Time: 01.02.2023 15:55:15			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,126	0,238	0,053	0,397	0,979
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,093	<0,0050	0,016	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0048	<0,0020	0,0071	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0017
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,03			

Tabla 5.124. Composición química de la muestra MM2-M4

Bruker Analysis Report



Sample: MM2-M4

Analysis Time: 01.02.2023 16:01:13

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,163	0,239	0,053	0,410	0,992
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,099	<0,0050	0,017	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0050	0,0021	0,0069	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0014
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,96			

Tabla 5.125. Composición química de la muestra MM2-M5

Bruker Analysis Report



Sample: MM2-M5

Analysis Time: 01.02.2023 15:47:26

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,140	0,235	0,053	0,408	0,981
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,090	<0,0050	0,016	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0052	<0,0020	0,0069	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0062	0,0015
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,00			

Tabla 5.126. Composición química de la muestra MM2-M6

Bruker Analysis Report



Sample: MM2-M6					
Analysis Time: 01.02.2023 15:52:29			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,115	0,230	0,054	0,410	0,973
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,092	0,0051	0,017	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0052	<0,0020	0,0071	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0013
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,04			

Tabla 5.127. Composición química de la muestra MM2-M7

Bruker Analysis Report



Sample: MM2-M7					
Analysis Time: 01.02.2023 15:58:10			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,143	0,241	0,053	0,400	0,977
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,092	<0,0050	0,016	0,028	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0047	<0,0020	0,0068	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0016
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,01			

Tabla 5.128. Composición química de la muestra MM2-M8

Bruker Analysis Report



Sample: MM2-M8					
Analysis Time: 01.02.2023 15:50:33			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,132	0,240	0,052	0,398	0,961
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,094	<0,0050	0,016	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0050	<0,0020	0,0067	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0012
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,05			

Tabla 5.129. Composición química de la muestra MM2-M9

Bruker Analysis Report



Sample: MM2-M9					
Analysis Time: 01.02.2023 15:49:11			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,128	0,240	0,051	0,394	0,962
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,091	<0,0050	0,016	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0045	<0,0020	0,0064	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0077	0,0011
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,06			

Tabla 5.130. Composición química de la muestra MM2-M10

Bruker Analysis Report



Sample: MM2-M10

Analysis Time: 01.02.2023 15:53:51

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,145	0,249	0,054	0,410	0,968
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,094	<0,0050	0,015	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0050	<0,0020	0,0072	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0015
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,99			

Tabla 5.131. Composición química de la muestra MM3-M1

Bruker Analysis Report



Sample: MM3-M1

Analysis Time: 01.02.2023 16:53:16

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,155	0,244	0,053	0,392	0,941
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,104	<0,0050	0,017	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0051	<0,0020	0,0068	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0021
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,03			

Tabla 5.132. Composición química de la muestra MM3-M2

Bruker Analysis Report



Sample: MM3-M2

Analysis Time: 01.02.2023 16:49:25

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,144	0,237	0,054	0,403	1,003
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,102	<0,0050	0,016	0,031	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0046	<0,0020	0,0069	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0015
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,98			

Tabla 5.133. Composición química de la muestra MM3-M3

Bruker Analysis Report



Sample: MM3-M3

Analysis Time: 01.02.2023 16:54:12

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,165	0,237	0,052	0,387	0,974
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,105	<0,0050	0,017	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0046	<0,0020	0,0063	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0013
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,00			

Tabla 5.134. Composición química de la muestra MM3-M4

Bruker Analysis Report



Sample: MM3-M4					
Analysis Time: 01.02.2023 16:50:32			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,137	0,234	0,053	0,392	0,973
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,100	<0,0050	0,016	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0048	0,0021	0,0066	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0013
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,03			

Tabla 5.135. Composición química de la muestra MM3-M5

Bruker Analysis Report



Sample: MM3-M5					
Analysis Time: 01.02.2023 16:55:18			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,162	0,238	0,053	0,400	0,961
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,103	<0,0050	0,016	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0048	<0,0020	0,0066	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0013
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,00			

Tabla 5.136. Composición química de la muestra MM3-M6

Bruker Analysis Report



Sample: MM3-M6					
Analysis Time: 01.02.2023 16:44:09			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,137	0,238	0,052	0,387	0,965
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,107	<0,0050	0,017	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0044	<0,0020	0,0063	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0015
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,03			

Tabla 5.137. Composición química de la muestra MM3-M7

Bruker Analysis Report



Sample: MM3-M7					
Analysis Time: 01.02.2023 16:48:25			Method: Al100		
	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,151	0,237	0,052	0,379	1,014
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,101	<0,0050	0,017	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0045	<0,0020	0,0065	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	0,0079	0,0018
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	96,98			

Tabla 5.138. Composición química de la muestra MM3-M8

Bruker Analysis Report



Sample: MM3-M8

Analysis Time: 01.02.2023 16:52:18

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,155	0,237	0,052	0,400	0,954
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,106	<0,0050	0,017	0,029	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0049	0,0021	0,0065	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0013
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,02			

Tabla 5.139. Composición química de la muestra MM3-M9

Bruker Analysis Report



Sample: MM3-M9

Analysis Time: 01.02.2023 16:46:18

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,137	0,237	0,053	0,384	0,996
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,100	<0,0050	0,017	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0047	<0,0020	0,0065	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0024
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,01			

Tabla 5.140. Composición química de la muestra MM3-M10

Bruker Analysis Report



Sample: MM3-M10

Analysis Time: 01.02.2023 16:45:20

Method: Al100

	Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
∅	1,137	0,237	0,052	0,388	0,939
	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	Pb [%]
∅	0,102	<0,0050	0,016	0,030	<0,050
	Sn [%]	V [%]	Sr [%]	Zr [%]	Cd [%]
∅	<0,0050	0,0047	<0,0020	0,0064	<0,0050
	Co [%]	B [%]	Ag [%]	Bi [%]	Ca [%]
∅	<0,0030	<0,0010	<0,0010	<0,0060	0,0019
	Li [%]	Al [%]			
∅	<0,300	97,06			