



# **Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**  
Dirección General de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería Industrial  
Unidad de Posgrado

## **El modelo MgNaTecS para la obtención de aleaciones livianas de Magnesio como producto sustituto empleando recursos nacionales en la fabricación de piezas y equipos**

### **TESIS**

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial

### **AUTOR**

Daniel Florencio LOVERA DÁVILA

### **ASESOR**

Dr. Eulogio Guillermo SANTOS DE LA CRUZ

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Lovera, D. (2023). *El modelo MgNaTecS para la obtención de aleaciones livianas de Magnesio como producto sustituto empleando recursos nacionales en la fabricación de piezas y equipos*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Daniel Florencio Lovera Davila
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06450640
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0003-2815-0716">https://orcid.org/0000-0003-2815-0716</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Eulogio Guillermo Santos De La Cruz
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09997277
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0001-8594-6716">https://orcid.org/0000-0001-8594-6716</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Jorge Luis Inche Mitma
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07506203
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Olivio Nino Castro Mandujano
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07683880
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Vidal Sixto Aramburú Rojas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08608364

<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	C.0.4.1 Desarrollo de modelos, simulación y optimización de procesos.
Grupo de investigación	Tecnologías Metalúrgicas Sostenibles – TecMetS
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Cercado de Lima Avenida. Carlos Germán Amezaga #375 - Cercado de Lima Latitud: -12.0564232 Longitud: -77.0843327
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Enero 2019 - diciembre 2022
URL de disciplinas OCDE	Minería, Procesamiento de minerales <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.05">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.05</a>  Ingeniería industrial <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.04">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.04</a>  Ingeniería de procesos <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02</a>



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
MAYOR DE SAN MARCOS**  
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

**UNIDAD DE POSGRADO**

### **ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL N°03-UPG-FII-2023**

#### **SUSTENTACIÓN DE TESIS VIRTUAL PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

En la ciudad de Lima, del día uno del mes de marzo del dos mil veintitrés, siendo las diecisiete horas, de forma virtual se instaló el Jurado Examinador para la Sustentación de la Tesis titulada: “**EL MODELO MgNaTecS PARA LA OBTENCIÓN DE ALEACIONES LIVIANAS DE MAGNESIO COMO PRODUCTO SUSTITUTO EMPLEANDO RECURSOS NACIONALES EN LA FABRICACIÓN DE PIEZAS Y EQUIPOS**”, para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas del Jurado Examinador se procedió a la calificación individual y secreta, habiendo sido **APROBADO** con la calificación de **DIECISIETE (17) Muy Bueno**.

El Jurado recomienda que la Facultad acuerde el otorgamiento del Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial, al **Mg. DANIEL FLORENCIO LOVERA DÁVILA**.

En señal de conformidad, siendo las **18:50** horas se suscribe la presente acta en cuatro ejemplares, dándose por concluido el acto.



Firmado digitalmente por NCHE  
MITMA Jorge Luis FAU  
20148092282 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 20.03.2023 16:02:48 -05:00

**Dr. JORGE LUIS INCHE MITMA**  
**Presidente**



Firmado digitalmente por CASTRO  
MANDUJANO Olvio Nino FAU  
20148092282 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 13.03.2023 15:44:58 -05:00

**Dr. OLIVIO NINO CASTRO MANDUJANO**  
**Miembro**

**DR. VIDAL SIXTO ARAMBURÚ ROJAS**  
**Miembro**

**Dr. SANTOS DE LA CRUZ EUGENIO GUILLERMO**  
**Asesor**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
MAYOR DE SAN MARCOS**

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

## **INFORME DE EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD**

1. Facultad de Ingeniería Industrial.
2. Unidad de Posgrado.
3. Autoridad académica: Director (e) de la Unidad de Posgrado.  
Dr. Jorge Luis Inche Mitma.
4. Operador del programa informático de similitudes: Asistente de Tesis de la UPG.
5. Documento Evaluado: Tesis de posgrado para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Industrial. Titulado **“EL MODELO MgNaTecS PARA LA OBTENCIÓN DE ALEACIONES LIVIANAS DE MAGNESIO COMO PRODUCTO SUSTITUTO EMPLEANDO RECURSOS NACIONALES EN LA FABRICACIÓN DE PIEZAS Y EQUIPOS”**.
6. Autor del Documento: Mg. Daniel Florencio Lovera Dávila.
7. Fecha de recepción del documento: 26/01/2023.
8. Fecha de aplicación del programa de similitudes: 27/01/2023.
9. Software utilizado: Turnitin.
10. Configuración del programa detector de similitudes:
  - a. Excluye textos entrecomillados.
  - b. Excluye cadenas menores a 40 palabras.
  - c. Excluye Índice
11. Porcentaje de similitudes encontradas: Dos por ciento (02%).
12. Fuentes originales de las similitudes encontradas (Ver informe de originalidad).
13. Sin observaciones.
14. Calificación de originalidad.
  - d. Documento que cumple criterio de originalidad, sin observaciones.
15. Fecha del informe: 27 de enero de 2023.



Firmado digitalmente por INCHE  
MITMA Jorge Luis FAU 20148092282  
sofi  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 31.01.2023 10:41:54 -05:00

**Dr. JORGE LUIS INCHE MITMA**  
**Director (e) de la Unidad de Posgrado**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

## EL MODELO MgNaTecS PARA LA OBTENCIÓN DE ALEACIONES LIVIANAS DE MAGNESIO COMO PRODUCTO SUSTITUTO EMPLEANDO RECURSOS NACIONALES EN LA FABRICACIÓN DE PIEZAS Y EQUIPOS

### INFORME DE ORIGINALIDAD

2%

INDÍCE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

[www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)

Fuente de Internet

1%

2

[repository.ucc.edu.co](http://repository.ucc.edu.co)

Fuente de Internet

<1%

3

[gaztenpresa.org](http://gaztenpresa.org)

Fuente de Internet

<1%

4

[www.jpier.org](http://www.jpier.org)

Fuente de Internet

<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 40 words

Excluir bibliografía

Activo



### ***Página de dedicatoria y agradecimiento***

Mi profundo agradecimiento al Creador Eterno que hizo el universo con Sabiduría e Inteligencia y nos ofrece la eternidad en su Reino Venidero.

A la memoria de mis padres Daniel y Bertha por sus enseñanzas y ejemplos para encaminar mis pasos en la vida.

A mi apreciada Familia: Verónica, Daniela, Daniel, Israel y Juliette, por su comprensión y amor en mis actividades de docencia e investigación universitaria.

A todos mis familiares paternos y maternos por su aprecio y consejos impartidos al largo de mi vida.

A mis colegas y compañeros de promoción: Escuela primaria 1018, Gran Unidad Escolar José Gálvez Barrenechea - La Oroya, Ingeniería Química – pre y posgrado - UNMSM, Ingeniería Metalúrgica – UNMSM, Ingeniería Industrial – Doctorado – UNMSM, Ingeniería Metalúrgica posgrado – Universidad de Concepción – Chile.

Al Vicerrectorado de Investigación y Posgrado, al Instituto de Investigación – IIGEO – UNMSM, a la Incubadora 1551 – UNMSM, al Grupo de Investigación TECMETS – FIGMMG – UNMSM, a los emprendimientos SIM3CAM y CALMAG por su apoyo en la presente investigación.

A mis docentes de pregrado, maestría y doctorado por sus valiosas enseñanzas y de modo especial a mi asesor de tesis doctoral.

A mis alumnos y tesis de pregrado y posgrado: Ingeniería Metalúrgica – FIGMMG - UNMSM, Ingeniería Geológica – FIGMMG – UNMSM y del Posgrado en Geo Metalurgia – FIGMMG – UNMSM.

A mis compañeros y amigos del IASD, así como también colegas del UA – UNMSM y de otras Universidades por su amistad y valores que me transmiten.

A mis colegas de las redes: RIPREXS, Responsables Ambientales de América Latina y el Caribe entre otros, por sus valiosos consejos y amistad.

A mis amigos y colegas diversos, así como de las redes sociales: Blogger, Facebook, Hotmail, Gmail, entre otros.

## ÍNDICE GENERAL

<b>PÁGINA DE DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>II</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>XV</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>XVI</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Situación Problemática .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Importancia .....	1
1.1.2 Interés.....	2
1.1.3 Viabilidad.....	4
<b>1.2. Formulación del Problema .....</b>	<b>5</b>
1.2.1. Definición del Problema.....	5
1.2.2. Delimitación del Problema.....	6
<b>1.3. Justificación de la Investigación.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4. Justificación Teórica.....</b>	<b>8</b>
<b>1.5. Justificación Práctica.....</b>	<b>8</b>
<b>1.6. Objetivos .....</b>	<b>9</b>
1.6.1 Objetivo General .....	9
1.6.2 Objetivos Específicos.....	9
<b>CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Marco Filosófico o Epistemológico .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2. Antecedentes de Investigación.....</b>	<b>11</b>
2.2.1. Tecnología del Magnesio.....	11

2.2.2. La Mineralogía del Magnesio .....	14
2.2.3. Procedimientos Metalúrgicos .....	15
<b>2.3. Bases Teóricas .....</b>	<b>17</b>
2.3.1. Modelo Tecnológico MgNaTecS.....	17
2.3.2. Modelo de Negocios CANVAS.....	19
2.3.3. Descripción del Modelo Tecnológico MgNaTecS.....	20
<b>CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1. Hipótesis.....</b>	<b>21</b>
3.1.1 Hipótesis General .....	21
3.1.2 Hipótesis Específicas .....	21
<b>3.2. identificación de Variables .....</b>	<b>21</b>
3.2.1 Variables Independientes y Dependientes .....	21
<b>3.3. Operacionalización de Variables.....</b>	<b>22</b>
<b>3.4. Metodología Desarrollada.....</b>	<b>24</b>
<b>CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 Análisis e Interpretación .....</b>	<b>27</b>
4.1.1 Caracterización de la muestra.....	27
4.1.2 Desarrollo de Procesos Pirometalúrgicos .....	28
4.1.3 Contribución de Tecnológica y Comercial.....	29
<b>4.2 Discusión de Resultados .....</b>	<b>30</b>
4.2.1 Caracterización de la muestra.....	30
4.2.2 Desarrollo de Procesos Pirometalúrgicos .....	34
4.2.3 Contribución de Tecnológica y Comercial.....	44
4.2.4 Lienzo CANVAS del Producto Comercial CALMAG .....	44
<b>4.3 Pruebas de Hipótesis.....</b>	<b>47</b>
4.3.1 Caracterización de la muestra.....	47

4.3.2 Desarrollo de Procesos Pirometalúrgicos .....	50
4.3.3 Contribución Tecnológica y Comercial .....	52
<b>4.4 Presentación de resultados .....</b>	<b>53</b>
4.4.1 Caracterización de la muestra .....	53
4.4.2 Desarrollo de Procesos Pirometalúrgicos .....	55
4.4.3 Desarrollo de la Contribución Tecnológica y Comercial .....	61
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>72</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>77</b>
<b>1.0 Números Adimensionales en la Tecnología del Magnesio.....</b>	<b>77</b>
<b>2.0 Matriz de Consistencia .....</b>	<b>85</b>
<b>3.0 ENCUESTA DE OPINION SOBRE INNOVACION y EMPRENDIMIENTOS TECNOLOGICOS DEL MAGNESIO, COMPUESTOS Y ALEACIONES (MgNaTecS)...</b>	<b>87</b>
<b>4.0 ANALISIS ESTADISTICO CON MINITAB.....</b>	<b>98</b>
<b>5.0 Especificaciones técnicas del Magnesio Metálico .....</b>	<b>104</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Línea de Tiempo de la Evolución de la Tecnología del Magnesio .....	12
Cuadro 2.	Operacionalización de las Variables .....	23
Cuadro 3.	Estructura del Diseño.....	25
Cuadro 4.	Análisis e Interpretación de la Información. ....	26
Cuadro 5.	Cuantificación de las Variables de Caracterización .....	28
Cuadro 6.	Cuantificación de las Variables de Procesos Pirometalúrgicos .....	29
Cuadro 7.	Cuantificación de las Variables de Tecnología Comercial .....	30
Cuadro 8.	Composición Porcentual de Óxido de Calcio, Óxido magnesio y Dolomita de algunos países.....	30
Cuadro 9.	Cuantificación del Número Adimensional de Caracterización (DL1).....	48
Cuadro 10.	Cuantificación de las Muestras Internacionales de Dolomitas	49
Cuadro 11.	Cuantificación del Número Adimensional de Procesos (DL2).	50
Cuadro 12.	Cuantificación de los Datos Cinéticos de la Reducción Silicotérmica del Magnesio .....	51
Cuadro 13.	Cuantificación del Número Adimensional de Procesos Tecnológicos (DL3).....	52
Cuadro 14.	Encuesta de Opinión sobre Innovación y Emprendimientos Tecnológicos del Magnesio, sus Compuestos y Aleaciones (MgNaTecS).....	69
Cuadro 15.	El modelo mgnatecs para la obtención de aleaciones livianas demagnesio como producto sustituto empleando recursos nacionales en la fabricación de piezas y equipos.....	85
Cuadro 16.	Especificaciones técnicas del Magnesio Metálico.....	104
Cuadro 17.	Numero Adimensional del Magnesio para simular las Propiedades Mecánicas de las Aleaciones del Magnesio.....	105

Cuadro 18. Estudio Mineralógico por Microscopia Electrónica .....	106
Cuadro 19. Aleaciones.....	111
Cuadro 20. Contrastando los datos experimentales con los estándares internacionales .....	117
Cuadro 21. ....	117
Cuadro 22. ....	118
Cuadro 23. ....	118

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Zona de Ocurrencia de Rocas Carbonatadas en el Perú .....	1
Figura 2:	Propiedades Mecánicas del Magnesio. ....	2
Figura 3:	Producción no Metálica Nacional – 2016.....	3
Figura 4	Portátil PREMIUM con aleaciones de Magnesio y Litio.....	4
Figura 5:	Aplicación en la minería, los suelos agrícolas y la salud pública.....	5
Figura 6.	Modelo Tecnológico MgNaTecS.....	7
Figura 7.	Economía Circular de Residuos Sólidos Industriales .....	11
Figura 8.	Diagrama de Fases Binario del Aluminio y Magnesio... ..	14
Figura 9.	Diagrama de Fases Binario de Aleaciones de Magnesio.....	16
Figura 10.	Ciclo Virtuoso de la I+D+i+e+s. TECMETS-SIM3CAM-PQI....	18
Figura 11.	Modelo de Negocio CANVAS-TECMETS-SIM3CAM-PQI .....	19
Figura 12.	Descripción del Modelo Tecnológico MgNaTecS .....	20
Figura 13.	Difractograma de los Relaves Dolomíticos... ..	27
Figura 14.	Estudio Mineralógico por Microscopía Electrónica – I.....	31
Figura 15.	Estudio Mineralógico por Microscopía Electrónica – II.....	31
Figura 16.	Espectros de los Elementos Presentes – I. ....	32
Figura 17.	Espectros de los Elementos Presentes – II. ....	32
Figura 18.	Espectros de los Elementos Presentes – III. ....	33
Figura 19.	Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos X.....	33
Figura 20.	Número Adimensional ( $DL_1$ ) función del (% MgO, % $CaCO_3.MgCO_3$ ).....	34
Figura 21.	Entalpía de Reacción versus la Temperatura.....	35
Figura 22.	Entropía de Reacción versus la Temperatura.....	36
Figura 23.	Energía Libre de Reacción versus la Temperatura.....	36
Figura 24.	Modelo Cinético de la Calcinación de la Dolomita – Efecto de la Temperatura .....	37

Figura 25.	Entalpía de Reacción de Reducción Silicotérmica del Magnesio versus la Temperatura. ....	40
Figura 26.	Entropía de Reacción de Reducción Silicotérmica del Magnesio versus la Temperatura.. ....	40
Figura 27.	Energía Libre de Gibbs de Reacción de Reducción Silicotérmica del Magnesio versus la Temperatura.....	41
Figura 28.	Constante Cinética de Reacción de Reducción Silicotérmica en función de la Temperatura .....	42
Figura 29.	Constante Cinética de Reacción de Reducción Silicotérmica del Magnesio en función RM .....	42
Figura 30.	Cinética de la Reducción Silicotérmica del Mg – ALFA = f (t,T,RM).....	43
Figura 31.	Número Adimensional (DL <sub>2</sub> ) función (Peso MgO, % Mg) .....	43
Figura 32.	Número Adimensional (DL <sub>3</sub> ) función (Peso Aleación MgAlZn, % Mg).....	44
Figura 33.	Lienzo CANVAS - Recuperación de Compuestos de Magnesio de los Relaves.....	45
Figura 34.	Lienzo de CANVAS DINÁMICO I de la propuesta de valor con el segmento del cliente. ....	45
Figura 35.	Lienzo de CANVAS DINÁMICO II. Mejorando la propuesta de valor con el segmento del cliente.....	46
Figura 36.	Lienzo de CANVAS DINÁMICO III. Evolucionando la propuesta de valor y la relación del cliente. ....	46
Figura 37.	Lienzo de CANVAS DINÁMICO IV. Evolucionando la propuesta de valor y la relación del cliente. ....	30
Figura 38.	Prueba de Hipótesis 1 de la Caracterización de las Muestras Nacionales.....	48
Figura 39.	Prueba de Hipótesis 1 de la Caracterización de las Muestras Internacionales .....	49
Figura 40.	Prueba de Hipótesis 2 del desarrollo de los Procesos Pirometalúrgicos .....	51
Figura 41.	Prueba de Hipótesis 3 de la Contribución Tecnológica y Comercial.....	53
Figura 42.	Número Adimensional (DL <sub>1</sub> ) vs % MgO.....	54



Figura 43.	Número Adimensional ( $DL_1$ ) vs % CaO .....	54
Figura 44.	Número Adimensional ( $DL_1$ ) vs % ZnO.....	55
Figura 45.	Número Adimensional ( $DL_2$ ) vs Peso MgO.....	55
Figura 46.	Número Adimensional ( $DL_2$ ) vs Flujo de Argón ( $cm^3/min$ ) .....	56
Figura 47.	Número Adimensional ( $DL_2$ ) vs Potencia Eléctrica (KWh) .....	56
Figura 48.	Número Adimensional ( $DL_2$ ) vs Tiempo (minutos).....	57
Figura 49.	Número Adimensional ( $DL_2$ ) vs % Mg.....	57
Figura 50.	Número Adimensional ( $DL_2$ ) vs Temperatura ( $^{\circ}C$ ).....	58
Figura 51.	Número Adimensional ( $DL_2$ ) vs % Zn .....	58
Figura 52.	Diagrama de Flujo del Proceso de Calcinación .....	59
Figura 53.	Diagrama de Flujo del Proceso de la Obtención de Sales de Calcio y Magnesio .....	60
Figura 54.	Número Adimensional ( $DL_3$ ) VS W (Aleación MgAlZn).....	61
Figura 55.	Número Adimensional ( $DL_3$ ) VS DUREZA.....	61
Figura 56.	Número Adimensional ( $DL_3$ ) VS % Mg .....	62
Figura 57.	Número Adimensional ( $DL_3$ ) VS % Resistencia a la Tracción	62
Figura 58.	Número Adimensional ( $DL_3$ ) VS Temperatura .....	63
Figura 59.	Ranking de los Países Productores de Magnesio a nivel Mundial. .....	63
Figura 60.	El Magnesio y sus Aleaciones .....	64
Figura 61.	Diagrama de Flujo de la Obtención del Magnesio I. ....	64
Figura 62.	Diagrama de Flujo de la Obtención del Magnesio II. ....	65
Figura 63.	Cambios Estructurales en el Relave durante la Calcinación... 65	
Figura 64.	Cambios Estructurales en los productos silicotérmicos en la obtención del Magnesio.....	66
Figura 65.	Difractogramas de la Muestra Reaccionada mostrando los minerales identificados .....	67

Figura 66.	Obteniendo Magnesio en la UNMSM, en un mini reactor aplicando Metalurgia Recuperativa y Economía Circular.....	68
Figura 67.	(a) y (b) Magnesio en la UNMSM obtenido en un mini reactor mediante Metalurgia Recuperativa y Economía Circular. ....	68
Figura 68.	Gráfico Consolidado de la Respuesta N°1 .....	87
Figura 69.	Gráfico Consolidado de la Respuesta N°2 .....	88
Figura 70.	Gráfico Consolidado de la Respuesta N°3 .....	89
Figura 71.	Gráfico Consolidado de la Respuesta N°4.....	89
Figura 72.	Gráfico Consolidado de la Respuesta N°5.....	90
Figura 73.	Gráfico Consolidado de la Respuesta N°6.....	91
Figura 74.	Gráfico Consolidado de la Respuesta N°7.....	91
Figura 75.	Gráfico Consolidado de la Respuesta N°8.....	92
Figura 76.	Gráfico Consolidado de la Respuesta N°9.....	93
Figura 77.	Gráfico Consolidado de la Respuesta N°10.....	93
Figura 78.	Gráfico Consolidado de la Respuesta N°11.....	94
Figura 79.	Gráfico Consolidado de la Respuesta N°12.....	95
Figura 80.	Gráfico Consolidado de la Respuesta N°13.....	96
Figura 81.	Gráfico Consolidado de la Respuesta N°14.....	96
Figura 82.	Gráfico Consolidado de la Respuesta N°15.....	97
Figura 83.	Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL1).....	98
Figura 84.	Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL1).....	98
Figura 85.	Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL1).....	99
Figura 86.	Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL1).....	99
Figura 87.	Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL1).....	100
Figura 88.	Gráfica de caja de Numero Adimensional (DL1); C8; C9; C10.....	100
Figura 89.	Gráfica de caja de Numero Adimensional (DL1); C8; C9; C10.....	101

Figura 90.	Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL2).....	101
Figura 91.	Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL2).....	102
Figura 92.	Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL3).....	102
Figura 93.	Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL3).....	103
Figura 94.	Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL3).....	103
Figura 95.	Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL3).....	104
Figura 96.	Numero Adimensional del Magnesio (NAMg).....	105
Figura 97.	Numero Adimensional del Magnesio y las propiedades mecánicas de las Aleaciones del Magnesio .....	106
Figura 98.	(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (AZ31B) con valores de aluminio (Al) y zinc (Zn). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Zinc (Zn) y Oxígeno (O).....	107
Figura 99.	(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (Aleación Mg) con valores de aluminio (Al). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Zinc (Zn), Oxígeno (O) y Manganeso (Mn).....	108
Figura 100.	(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (AZ31B) con valores de aluminio (Al) y Zinc (Zn). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Zinc (Zn).....	108
Figura 101.	(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio con valores de aluminio (Al), zinc (Zn), hierro (Fe) y manganeso (Mn). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Zinc (Zn), Oxígeno (O), Potasio (K), Azufre (S), Hierro (Fe) y Manganeso (Mn). .....	109
Figura 102.	(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (Aleación Mg). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Zinc (Zn) y Oxígeno (O).....	109
Figura 103.	(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (aleación Mg). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Oxígeno (O) y Zinc (Zn).....	110
Figura 104.	(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (aleación Mg). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Oxígeno (O), Zinc (Zn) y Calcio (Ca).....	110

- Figura 105. (a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (AZ31B). Presenta valores de zinc (Zn) y manganeso (Mn). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Oxígeno (O), Zinc (Zn) y Manganeso (Mn).....111
- Figura 106. (a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (Aleación Mg) con valores de oxígeno y aluminio. (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Oxígeno (O), Aluminio (Al) y Zinc (Zn).....112
- Figura 107 (a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (Aleación Mg) oxidado con valores de aluminio y titanio. (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Oxígeno (O), Aluminio (Al), Titanio (Ti), Silicio (Si), Potasio (K), Azufre (S) y Calcio (Ca).....112
- Figura 108 (a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (Aleación Mg) oxidado con valores de aluminio y zinc. (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Zinc (Zn) y Oxígeno (O).....113
- Figura 109 (a) Región señalada e identificada como aleación de aluminio oxidada (Aleación Al oxd) (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Oxígeno (O), Aluminio (Al) y Titanio (Ti).....113
- Figura 110 (a) Región señalada e identificada como aleación de manganeso-aluminio-magnesio (Aleación Mn-Al-Mg) con valores de sílice. (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Manganeso (Mn), Magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Silicio (Si).....114
- Figura 111 (a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (Aleación Mg) con valores de aluminio y zinc. (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Zinc (Zn) y Oxígeno (O).....114
- Figura 112 (a) Región señalada e identificada como aleación de manganeso-aluminio-magnesio (Aleación Mn-Al-Mg). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Manganeso (Mn), Magnesio (Mg) y Aluminio (Al).....115
- Figura 113 Región señalada e identificada como aleación de manganeso-aluminio-magnesio (Aleación Mn-Al-Mg). Presencia de oxígeno (O) y zinc (Zn). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Manganeso (Mn), Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Oxígeno (O) y Zinc (Zn).....115
- Figura 114 (a) Región señalada e identificada como aleación de cobre-zinc (Aleación Cu-Zn). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Cobre (Cu), Zinc (Zn), Magnesio (Mg), Cloro (Cl), Oxígeno (O), Plomo (Pb) e Hierro (Fe).....116

Figura 115 (a) Región señalada e identificada como aleación de cobre-zinc (Aleación Cu-Zn). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Cobre (Cu), Zinc (Zn), Magnesio (Mg), Cloro (Cl), Oxígeno (O), Plomo (Pb), Hierro (Fe), Bromo (Br) y Silicio (Si).....116

## Resumen

El Modelo MgNaTecS como parte del proceso tecnológico innovativo y emprendimiento comercial inserta a nuestro país en el marco mundial de la producción del magnesio, sus productos y aleaciones.

Estudios geológicos demuestran la existencia de yacimientos que contienen minerales de magnesio (calizas dolomíticas) en varias regiones; así como Huánuco, Junín, Ayacucho, Apurímac, Huancavelica, Ica, Piura, Trujillo, entre otros, como reservas probables de materias primas para el presente estudio. Se plantea el Número Adimensional ( $DL_1$ ) para la operacionalización de las variables de caracterización de las materias primas dolomíticas, que en la prueba de Hipótesis N°1 muestra buena correlación ( $r^2 = 0.9588$ ), que al contrastarlas con materias primas a nivel nacional e internacional están dentro de los controles adecuados para su posterior procesamiento.

Se plantea el Número Adimensional ( $DL_2$ ) para la operacionalización de las variables del Desarrollo de Procesos Pirometalúrgicos, que en la prueba de Hipótesis N°2 muestra buena correlación ( $r^2 = 0.9967$ ), que al contrastarlas con las tecnologías internacionales están dentro de los controles adecuados.

Se plantea el Número Adimensional ( $DL_3$ ) para la operacionalización de las variables de Contribución Tecnológica y Comercial empleados en el Modelo MgNaTecS, que en la prueba de Hipótesis N°3 muestra buena correlación ( $r^2 = 0.9967$ ), que al contrastarlas con las tecnologías comerciales internacionales están dentro de los controles adecuados para su posterior funcionamiento.

Finalmente, se presentan las metodologías de innovación y emprendimiento aplicando el modelo CANVAS dinámico, a través de una encuesta dirigida a expertos, profesionales y futuras empresas vistas como clientes, muestra el ciclo de vida tecnológico del magnesio, sus productos y aleaciones. Asimismo, se muestra la tendencia tecnológica nacional con bastante precisión, que recién comienza con la inserción del magnesio, sus productos y aleaciones en el mercado local según el modelo MgNaTecS.

**Palabras Claves:** magnesio, MgNaTecS, caracterización, tecnología, emprendimiento.

## Summary

The MgNaTecS Model as part of the innovative technological process and commercial enterprise inserts our country into the world framework of the production of magnesium, its products, and alloys.

Geological studies show the existence of deposits containing magnesium minerals (dolomitic limestone) in various regions as well as Huánuco, Junín, Ayacucho, Apurímac, Huancavelica, Ica, Piura, Trujillo, among others, as probable reserves of raw materials for this study.

The Dimensionless Number ( $DL_1$ ) is proposed for the operationalization of the characterization variables of the dolomitic raw materials, which in the Hypothesis No. 1 test shows a good correlation ( $r^2 = 0.9588$ ), when contrasted with raw materials at the national and international are within the appropriate controls for further processing.

The Dimensionless Number ( $DL_2$ ) is proposed for the operationalization of the variables of the Development of Pyrometallurgical Processes, which in the test of Hypothesis No. 2 shows a good correlation ( $r^2 = 0.9967$ ), when contrasted with international technologies are within the controls adequate.

The Dimensionless Number ( $DL_3$ ) is proposed for the operationalization of the Technological and Commercial Contribution variables used in the MgNaTecS Model, which in the Hypothesis test No. 3 shows a good correlation ( $r^2 = 0.9967$ ), when contrasted with commercial technologies international are within the appropriate controls for further processing.

Finally, innovation and entrepreneurship methodologies are presented by applying the dynamic CANVAS model, which through a survey aimed at experts, professionals and future companies seen as clients, shows the technological life cycle of magnesium, its products and alloys. Likewise, the national technological trend is shown quite accurately, which has just begun with the insertion of magnesium, its products and alloys in the local market according to the MgNaTecS model.

**Keywords:** magnesium, MgNaTecS, characterization, technology, entrepreneurship

# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

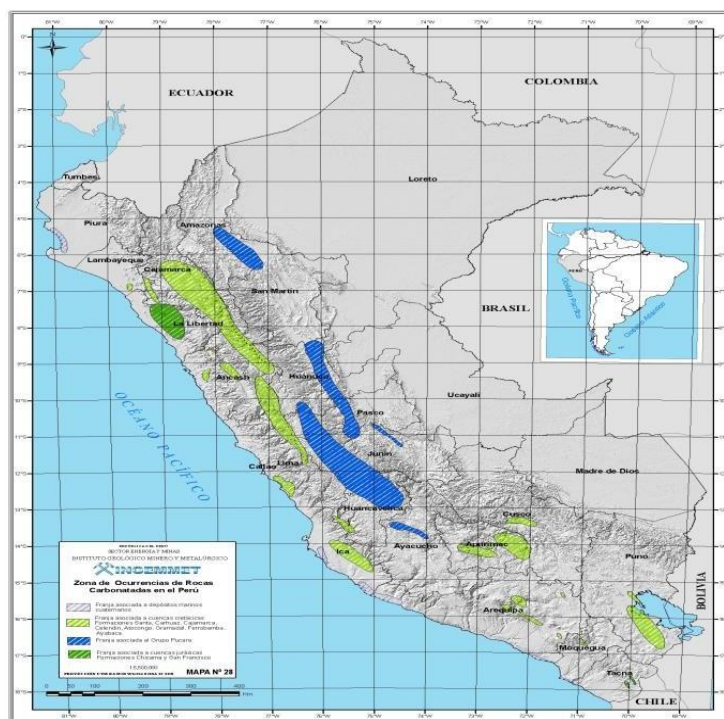
## 1.1 Situación Problemática

### 1.1.1 Importancia

A nivel nacional existe poco desarrollo tecnológico en la extracción del magnesio a partir de sus minerales no metálicos, principalmente: las calizas dolomíticas, el agua de mar, la magnesita, la carnalita, la serpentina, la espinela, el talco y las salmueras. Así, estudios geológicos demuestran la existencia de yacimientos que contienen minerales de magnesio (calizas dolomíticas) en varias regiones como Huánuco, Junín, Ayacucho, Apurímac, Huancavelica, Ica, Piura, Trujillo, entre otros, que son reservas probables de materias primas para el presente estudio (Instituto Geológico, Minero, Metalúrgico, INGEMMET, 1995). (Ver Figura 1).

**Figura 1**

Zona de Ocurrencia de Rocas Carbonatadas en el Perú.



*Nota. Datos tomados del INGEMMET.*



### 1.1.2 Interés

El magnesio metálico y sus aleaciones son de importancia en la fabricación de equipos, maquinarias con propiedades físicas y mecánicas útiles. La gama de aplicaciones del magnesio está presente en las industrias automotriz, aeroespacial, computadoras, agricultura y medicamentos. También, se encuentra en la formulación de pinturas y recubrimientos y, además, actúa como reductor en la obtención del titanio, como óxido en la remediación de gases sulfurosos, efluentes metalúrgicos, remediadores de suelos, entre otras aplicaciones. (Ver Figura 2).

**Figura 2.**

Propiedades Mecánicas del Magnesio.

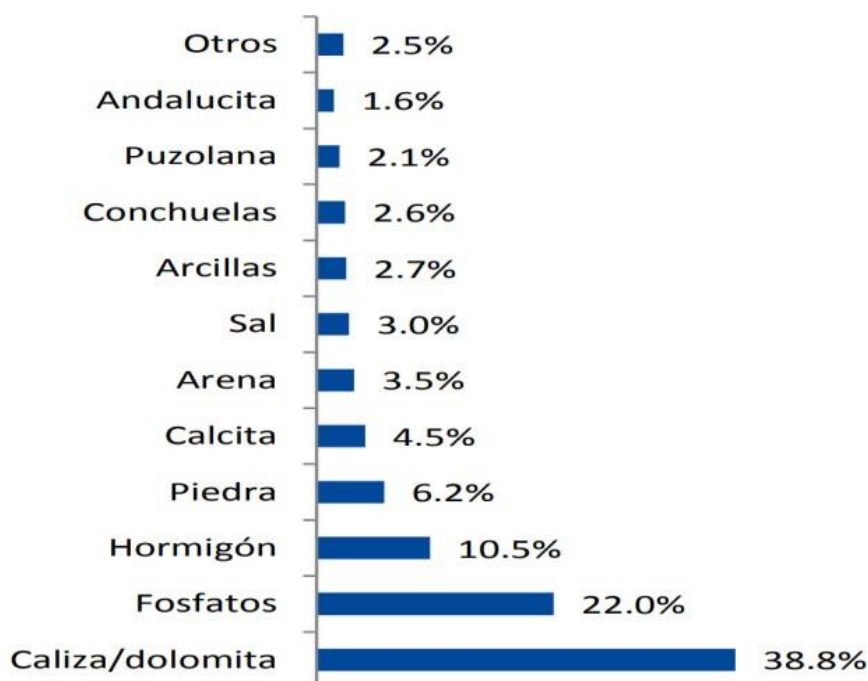


*Nota. Datos tomados de MATERIAL PROPERTIES*

Las investigaciones internacionales desarrolladas sobre el magnesio y sus aleaciones en los últimos años indican un gran avance y énfasis industrial, lo que hace necesario proponer proyectos I+D+i+e+S para la producción de magnesio y sus aleaciones con la materia prima nacional de caliza/dolomita (38.8%). (Ver Figura 3).

**Figura 3.**

Producción no Metálica Nacional – 2016.



*Nota. Datos tomados del MEM – OSINERMIN.*

Se muestra a continuación una revisión de la literatura sobre el magnesio metálico:

Se comenta sobre la producción de magnesio en el mundo, identificando la problemática y los desafíos técnicos asociados con las tecnologías actuales y alternativas (Winny Wulandari et al., 2010).

Los resultados demuestran que la quema e incluso la explosión de los productos de condensación durante la reducción carbotérmica al vacío de dolomita calcinada se debe a la quema del magnesio en polvo cristalizado (Cheng-bo Yang et al., 2013).

La aleación del magnesio reciclado producida por este proceso, puede suprimir de manera efectiva la corrosión causada por el cobre (Cu), uno de los elementos que causan la corrosión (Kawabata et al., 2015).

Una aleación de magnesio con alta incombustibilidad, resistencia y ductilidad juntas muestra rangos de alimentación del Ca, Al,  $(Mg, Al)_2$  logrando un buen desempeño (Kawamura et al., 2015).

Se ha sometido a reacción el carbonato de magnesio para producir un compuesto que contiene magnesio y dióxido de carbono. También, se ha realizado la reacción del compuesto que contiene magnesio para producir magnesio metálico (Blencoe et al., 2013).

### **1.1.3 Viabilidad**

Asímismo, es de gran importancia desarrollar micro aleaciones en base a magnesio, aluminio y tierras raras a nivel de laboratorio, para evaluar sus propiedades y aplicación en la industria electrónica, computacional, metalmeccánica y automotriz. (Ver Figura 4).

#### **Figura 4**

Portatil PREMIUM con aleaciones de Magnesio y Litio

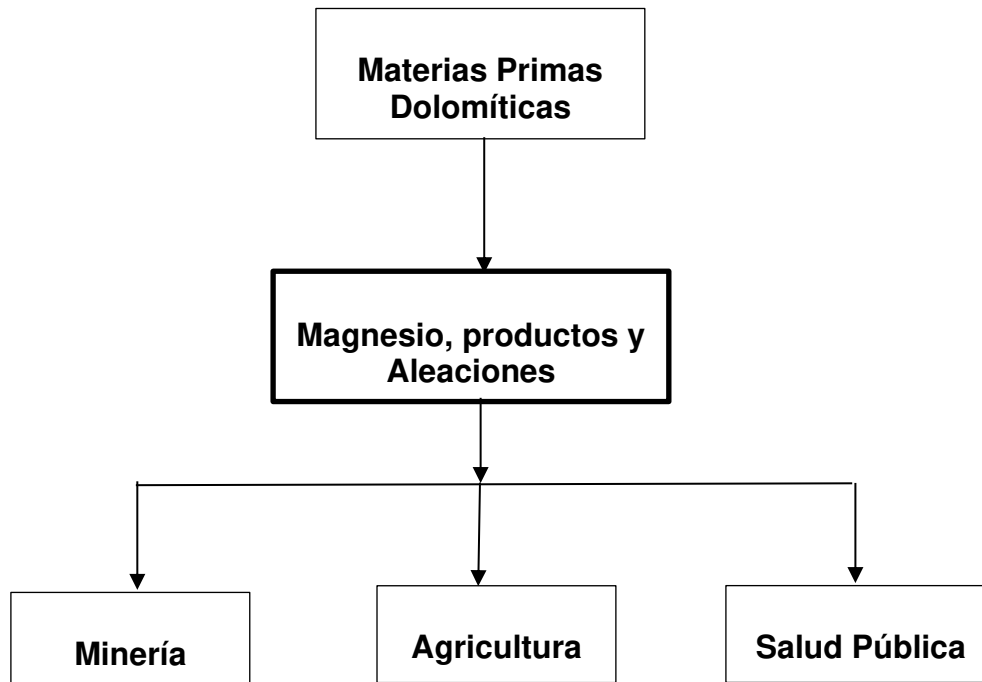


Nota: [Noticias 3D](#)

El magnesio es importante por sus productos derivados que se aplican en diferentes campos como la minería, los suelos agrícolas y en la salud pública, mejorando la calidad y cantidad de vida de las poblaciones. (Ver Figura 5).

**Figura 5.**

Aplicación en la minería, los suelos agrícolas y en la salud pública.



## **1.2. Formulación del Problema**

En el país existe poco desarrollo tecnológico del magnesio metálico que se encuentra en los siguientes minerales: calizas dolomíticas, el agua de mar, la magnesita, carnalita, serpentina, espinela, talco y las salmueras, además, están los pasivos ambientales que contienen calizas y otros elementos para desarrollar una industria del magnesio y sus aleaciones.

### **1.2.1. Definición del Problema**

La investigación en curso tiene como propósito poner en vitrina la tecnología del magnesio, que destaca en el devenir histórico, el proceso desarrollado por la Dow Chemical Company, con el que se obtiene magnesio a partir del agua de mar y salmueras. También, se destaca el proceso silicotérmico desarrollado para beneficiar los minerales magnésicos y calizas dolomíticas.

Sin embargo, estos procesos industriales no se han aplicado en los productos naturales del país. A continuación, se muestra la producción del magnesio a nivel internacional: China 58 %, USA 6.3 %, Alemania 5.9 %, Austria 5.5 %, Israel 3.3 %, Reino Unido 2.9 %.

El Modelo Magnesio Nano Tecnológico Sostenible (MgNaTecS) trata de abrir las posibilidades nacionales de la producción del Magnesio Metálico y sus aleaciones, puesto que disponemos de los recursos naturales de calizas, salmueras y agua de mar en cantidades probables y probadas.

### **Identificación del Problema**

**Problema Principal.** ¿En qué medida al aplicar a los recursos no metálicos dolomíticos nacionales el Modelo MgNaTecS se obtienen productos y aleaciones livianas de magnesio para la fabricación de piezas y equipos?

**Problema Específico N°1.** ¿De qué manera caracterizamos los recursos no metálicos dolomíticos nacionales para aplicar el Modelo MgNaTecS en la obtención de productos y aleaciones livianas de magnesio?

**Problema Específico N°2.** ¿Cómo aplicamos a los recursos no metálicos dolomíticos nacionales el Modelo MgNaTecS, sus procesos y tecnologías adecuadas para sintetizar productos y aleaciones de magnesio?

**Problema Específico N°3.** ¿En qué medida al aplicar el Modelo MgNaTecS, se contribuye tecnológica y comercialmente en la obtención de productos de valor del magnesio a lo largo de su ciclo de vida?

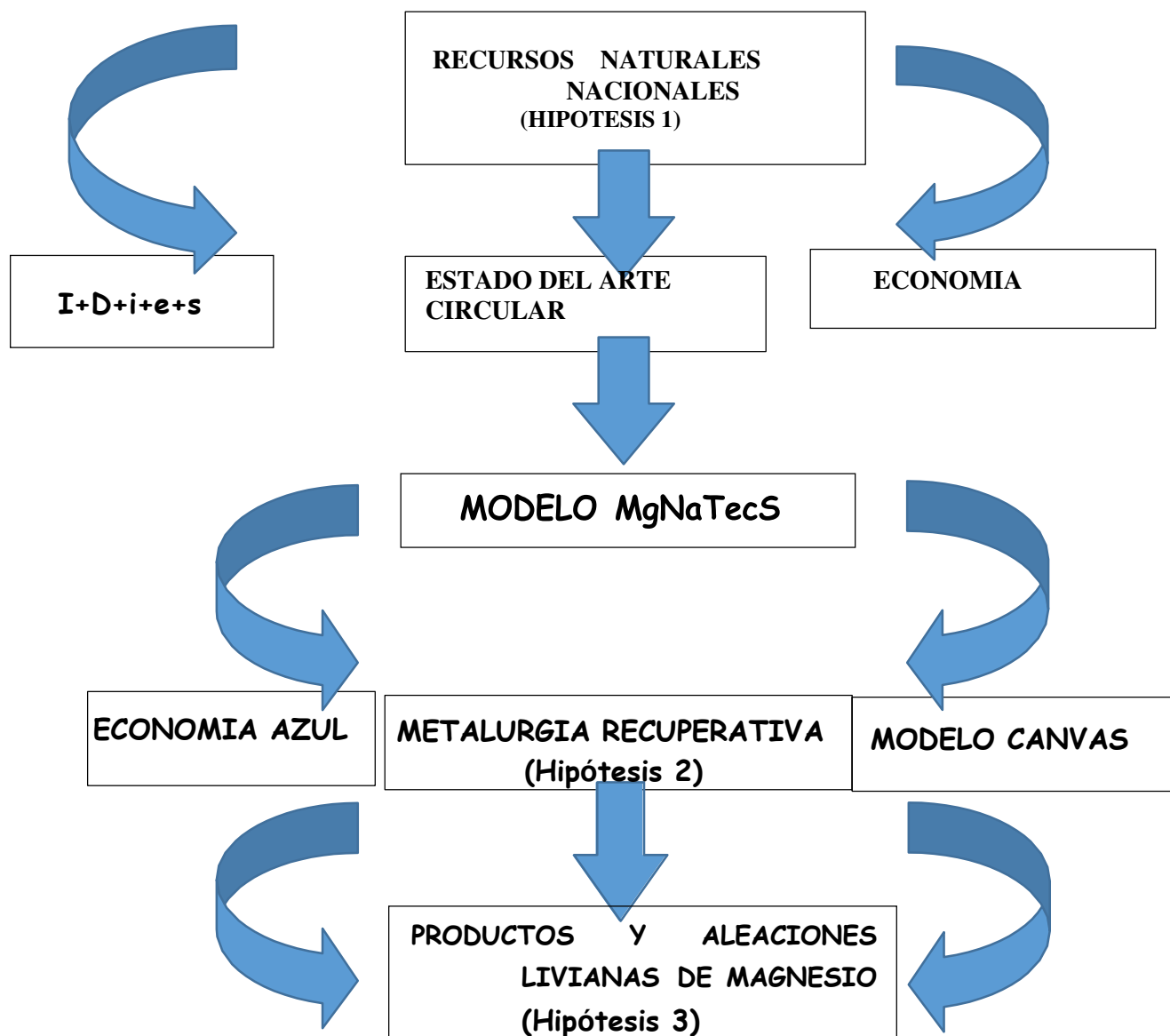
### **1.2.2. Delimitación del Problema**

El Modelo Magnesio Nano Tecnológico Sostenible (MgNaTecS) plantea el aprovechamiento racional de los recursos no metálicos nacionales en la extracción del magnesio a partir de sus minerales, relaves de pasivos ambientales, salmueras de plantas de tratamiento, agua de mar y,

principalmente, en las calizas dolomíticas y sus aleaciones livianas en la Región Lima. (Ver Figura 6).

**Figura 6.**

Modelo Tecnológico MgNaTecS



*Nota. Datos tomados de TECMETS – SIM3CAM - PQI*

### **1.3. Justificación de la Investigación**

A nivel nacional contamos con recursos naturales tanto minerales como agua de mar, salmueras, entre otros, que no han sido aprovechados en sus diferentes formas. Bajo ese marco, el Modelo MgNaTecS basado en I+D+i+S+e, plantea el aprovechamiento racional de estos recursos no metálicos nacionales, empleando la Metalurgia Recuperativa para la extracción del magnesio a partir de sus minerales, relaves (pasivos ambientales) y, principalmente las calizas dolomíticas para la obtención de aleaciones livianas del magnesio con los niveles internacionales de calidad y ambiente.

### **1.4. Justificación Teórica**

La generación del conocimiento de nuestros recursos naturales no metálicos, como es el caso del magnesio, sus aleaciones y aplicaciones tecnológicas permitirá que nuestra economía no solo esté basada en la tenencia y venta de materias primas, sino se crearán más fuentes de trabajo. Por eso, la Política Nacional de Investigación debe tener como prioridad capacitar en el manejo de tecnologías para generar nuevos materiales a partir de recursos naturales.

### **1.5. Justificación Práctica**

Este estudio es importante por cuanto existe interés en la industria mundial por el magnesio y sus aleaciones, a tal punto que, se considera como un material para la producción de máquinas y equipos por sus buenas propiedades físicas, mecánicas y electroquímicas. Además, es importante a nivel nacional, iniciar tecnologías innovadoras en el ámbito territorial que permitirán generar nuevas fuentes de trabajo e incrementará la diversidad económica nacional.

## 1.6. Objetivos

### 1.6.1 *Objetivo General*

Diseñar el Modelo MgNaTecS con el objetivo de emplear recursos no metálicos dolomíticos nacionales del cual, se obtendrá productos y aleaciones livianas de magnesio con el fin de fabricar piezas y equipos.

### 1.6.2 *Objetivos Específicos*

**Objetivo Específico N°1.** Caracterizar los recursos no metálicos dolomíticos nacionales en el Modelo MgNaTecS para la obtención de productos y aleaciones livianas de magnesio.

**Objetivo Específico N°2.** Aplicar los recursos no metálicos dolomíticos nacionales en el Modelo MgNaTecS con procesos y tecnologías adecuadas para obtener productos y aleaciones livianas de magnesio.

**Objetivo Específico N°3.** Al aplicar el Modelo MgNaTecS contribuye tecnológica y comercialmente para obtener productos de valor a lo largo del ciclo de vida del magnesio.



## **CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Marco Filosófico o Epistemológico**

El enfoque de las investigaciones se centran en la generación y el uso del conocimiento. Este se define como proceso complejo esencialmente de naturaleza humana, vinculado a la diversidad de clientes, por ello, se le asocia con el mercado. También, se le relaciona con las formas y ejecución del trabajo humano, por eso es catalogado dentro de la tecnología de la máquina (Kuhn, 1988; Faloh, 2006 y Druker, 2004).

La gestión del conocimiento tiene diferentes necesidades por resolver como impulsar su proceso, datos, información y el conocimiento mismo; además, genera nuevo conocimiento. La gestión para lograr más conocimiento es algo muy importante y decisivo para la humanidad, porque otorga sentido total al existir de las personas.

Actualmente, la Unión Europea en el diseño de su nueva política de investigación, desarrollo e innovación está considerando que su economía debe estar basada en el conocimiento y no en una economía de recursos naturales. En ese sentido, el enfoque filosófico en el que se basa este estudio está orientado al compromiso del aprovechamiento racional de los recursos y de la generación del conocimiento de los mismos como un propulsor para el desarrollo nacional (Kuhn, 1988), (Faloh, 2006) y (Druker, 2004).

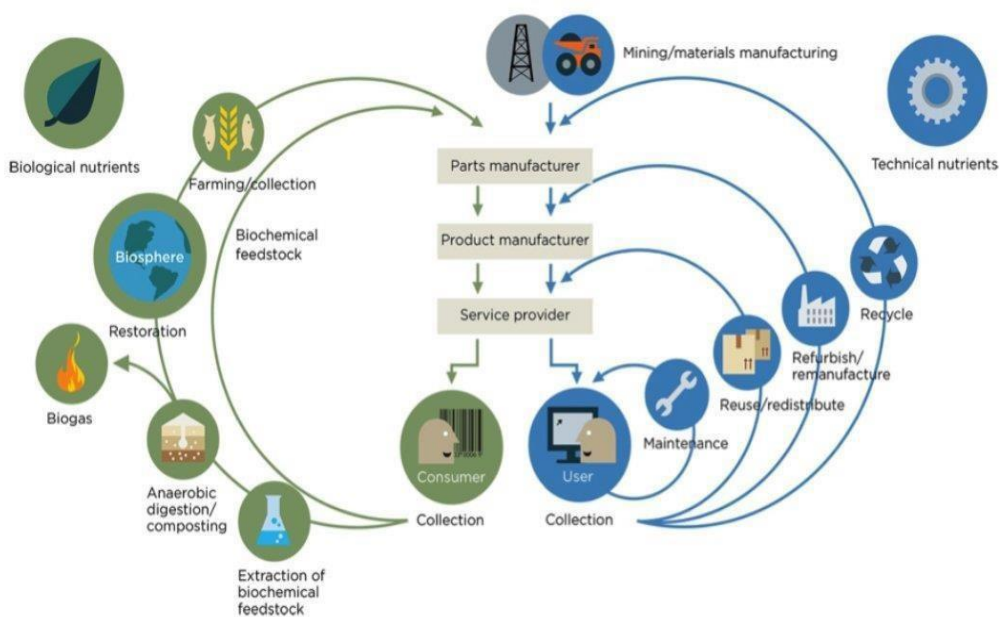
Por ello, se empleará los recursos nacionales que tenemos en abundancia: calizas dolomíticas, salmueras, agua de mar, entre otras. Además, se aplicarán las estrategias productivas de Metalurgia Recuperativa, I+D+i+e+s, Economía Circular, Economía Azul, para lograr construir la Tecnología del Magnesio, sus productos y aleaciones. También, se hará uso de las estrategias comerciales mediante el Modelo de Negocios CANVAS y

emprendimientos exponenciales (Espaliat, 2017; Pauli, 2009; Ismail, 2019). (Ver Figura 7).

### Figura 7.

#### Principios de Economía Circular

Where does this company sit within the circular economy?



Nota. Datos tomados de Ellen Macarthur Foundation, SUN et al. (2015).

## 2.2. Antecedentes de Investigación

### 2.2.1. Tecnología del Magnesio

La Tecnología del Magnesio se fue gestando desde 1808 hasta nuestros días (Ver Cuadro 1).

**Cuadro 1.**

## Línea de Tiempo de la Evolución de la Tecnología del Magnesio

<b>Emprendimientos</b>	<b>Procesos Químicos</b>	<b>Producción</b>
1808, Sir Humphrey Davy en Reino Unido.	Producción de Magnesio por Reducción Electrolítica de su óxido.	Primer Productor del Magnesio.
1866, en Alemania	Fabricación por electrólisis del cloruro de magnesio fundido	Hasta 1915, fue el único productor de magnesio.
1915, en los Estados Unidos	Tres productores iniciaron la fabricación del magnesio.	En 1920 solo quedaban dos productores: la Dow Chemical Company y la American Magnesium Corporation.
1927-1941	Productor de Magnesio de los Estados Unidos.	Dow Chemical Company continuó sus operaciones.
1915-1941	Nuevos Procesos de producción de Magnesio.	Especialmente en Europa.
Estados Unidos, 1941	Cloruro de Magnesio Electrolizado en un baño de sales fundidas.	La Dow Chemical puso en marcha una Planta en Freeport, Texas.
1941	Procedimiento carbotérmico inventado por el Dr. F. J. Hansgirg.	Construyó fábrica la Permanente Metals Corporation para producir magnesio.
Dr. Pidgeon en Canadá	Reducción térmica con ferro silicio.	Se construyeron otras fábricas.

*Nota. Datos tomados de Lovera (1994).*

Los Inventores Boris Bronfin, Nir Nagar, Nir Moscovitch, Mark Katzir, Soenke Schumann y Rudolph Boehm planteaban que a la luz de materiales estructurales, tales como las aleaciones de magnesio, son atractivas para aplicaciones que incluyen la industria del transporte, herramientas eléctricas, artículos deportivos, equipos y productos electrónicos. Los componentes de magnesio tienen una mejor relación resistencia-peso que sus homólogos de aluminio o acero, lo que reduce el peso total del vehículo y de la carga.

También, este proceso mejora la economía del combustible, al tiempo que se incrementa la seguridad, reduce significativamente las emisiones y aumenta el reciclado. Aunque, se utilizan varios procesos de fundición para producir partes de aleación de magnesio, alrededor del 90 %, se produce por los componentes de alta presión y moldeo.

Recientemente en EE. UU, se han desarrollado numerosas pruebas sobre fluencia en aleaciones de magnesio como se consignan en las patentes mostradas Pat N° 6,139,151; EP 1,135,630; EP 1,127,950; Pat. N° 6139151; EP 1135630; EP N° 1127950; Pat. N° 6,342,180; Pat. N° 6.342.180.

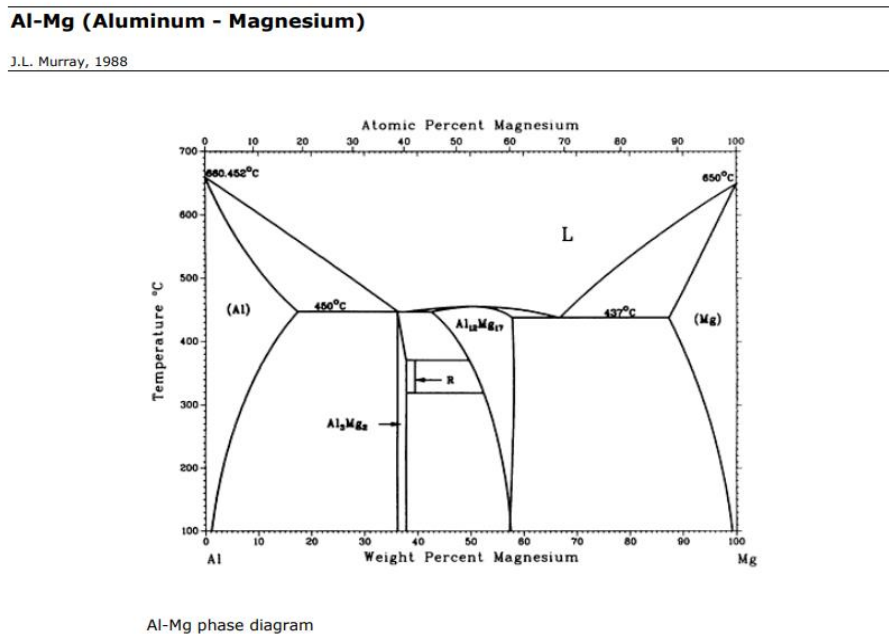
Estos se basan en aleaciones del sistema Mg-Al con la adición de Ca o Ca + Re como los principales elementos de aleación para aumentar la resistencia a la fluencia. Por otra parte, otro elemento alcalinotérreo como el estroncio (Sr), se utiliza principalmente como ingrediente de menor además de Mg - Al - Ca o Mg - Al - Ca - Re.

Recientemente, en Estados Unidos, se han planteado otros enfoques con las patentes Pat. N° 6,322,644; Pat. N° 6,322,644 y Pat. N° 6,808,679, que describen aleaciones a base de magnesio, que contienen de 2 a 9 % en peso de aluminio, de 0,5 a 7 % en peso de estroncio, de 0 a 0,35 % en peso de zinc y 0,0 a 0,60 % en peso de manganeso.

Varios investigadores mencionan que el magnesio es el metal estructural más ligero. En aplicaciones de ingeniería, el magnesio es aleado con uno o más elementos, por ejemplo, aluminio, manganeso, tierras raras, litio, zinc y plata. El Magnesio generalmente constituye 85 % en peso o más de estas aleaciones. (Ver Figura 8).

**Figura 8.**

Diagrama de Fases Binario del Aluminio y Magnesio.



*Nota. ASM HANDBOOK, J.L Murray, 1988*

El costo del magnesio ha oscilado en los últimos años, convirtiéndose este y sus aleaciones en atractivos materiales estructurales para una amplia gama de aplicaciones, debido en parte a las propiedades físicas deseables, tales como el peso ligero, la alta rigidez, la resistencia específica, la maquinabilidad, y la capacidad para ser fácilmente reciclado. Sin embargo, el uso del magnesio en los productos como la hoja de forjado y extrusiones ha sido limitado a causa de su escasa viabilidad, menor ductilidad y conformabilidad. A temperatura ambiente, el magnesio puro se caracteriza en general por la escasez de ductilidad, como resultado de su estrecha hexagonal, repleto de estructura cristalina y el consiguiente número limitado de sistemas de deslizamiento activo.

### **2.2.2. La Mineralogía del Magnesio**

La materia prima para la producción del magnesio es abundante, siendo el quinto de los metales en abundancia en la tierra después del silicio, aluminio,

hierro y calcio. El magnesio constituye el 2.24 % de la corteza terrestre. Las sales de magnesio más notables son el cloruro, el doble cloruro y el sulfato, que se encuentran en los lechos salinos, los cuales son los constituyentes de los cuerpos salinos como los lagos salados y los océanos.

El magnesio nunca se encuentra en estado nativo. Algunos importantes minerales de magnesio son los siguientes: la Magnesita ( $MgCO_3$ ), Dolomita ( $(MgCa)CO_3$ ), Kieserita ( $MgSO_4 \cdot H_2O$ ), Kianita ( $MgSO_4 \cdot KCl \cdot 6H_2O$ ), Carnalita ( $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$ ), Brucita ( $Mg(OH)_2$ ), Espinela ( $MgAl_2O_4$ ), Serpentina ( $H_4Mg_3Si_2O_9$ ) y el Talco ( $H_2Mg_3Si_4O_{12}$ ). También, el magnesio está representado en las rocas ígneas por los anfípoles, micas, piroxenos y olivino. Además, el talco, la clorita y la serpentina son comúnmente silicatos de magnesio, mientras que la dolomita se encuentra frecuentemente en calizas dolomíticas como sedimentos. La magnesita es minada en Australia, Austria, Hungría, Checoslovaquia, la India, Canadá, Grecia, Italia, España, Sud África y los estados de las costas del Pacífico como California y Washington en Estados Unidos. Allí mismo, se extrae la dolomita en zonas de California, Colorado, Illinois, Ohio Pensilvania y Oeste de Virginia, en otros países. (Lovera, 1994; Austin, 1989).

### **2.2.3. Procedimientos Metalúrgicos**

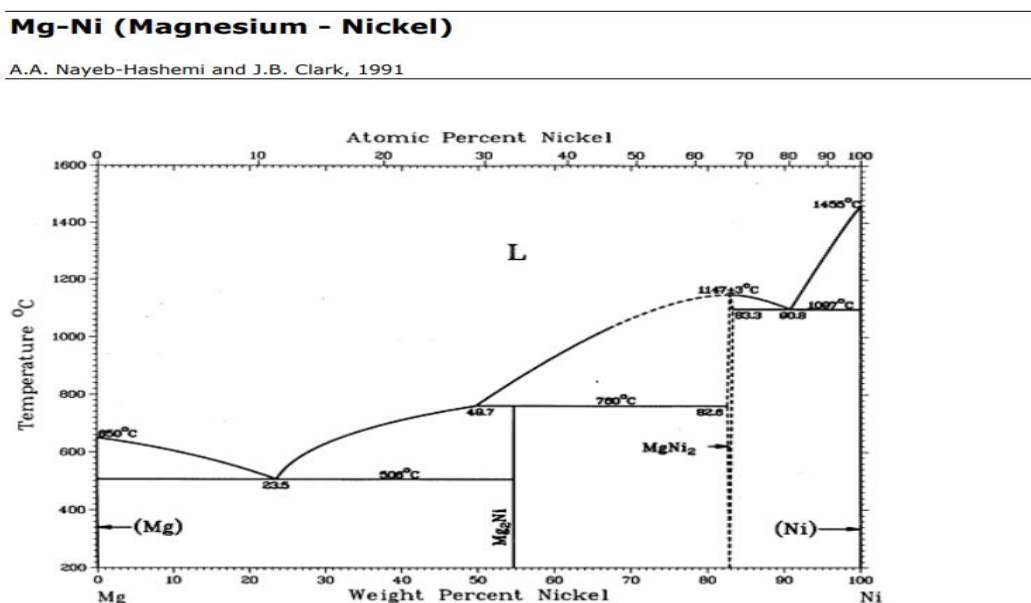
En cuanto, a la tecnología industrial empleada actualmente para el metal magnesio se destaca: la fusión con el aluminio, los adelantos recientes en la electrólisis de sales fundidas, la nucleación electroquímica en un cátodo de acero, el proceso continuo de producción electrolítica, el proceso de tratamiento de alta pureza y la producción a partir de minerales que contienen Magnesio (Austin, 1989).

**2.2.3.1. Aleaciones de Magnesio.** Las aleaciones del magnesio han aumentado en los últimos años, apareciendo materiales de buenas propiedades fisicoquímicas en las diversas industrias existentes, destacándose en la automotriz, la aeroespacial, entre otras. Podemos citar algunas aleaciones interesantes: litio con magnesio, la adición del zirconio en el incremento de las propiedades

metalmecánicas, la aleación Mg - Li- Al, las nuevas aleaciones amorfas de Mg-Ce-Ni con alta resistencia y buena ductilidad, la influencia de la adición de escandio y magnesio, la estructura y propiedades de la aleación Al-Li-Cu-Zr. (Ver Figura 9).

### Figura 9.

Diagrama de Fases Binario de Aleaciones de Magnesio.



Nota. ASM HANDBOOK A.A. Nayeb-Hashemi and J.B. Clark, 1991

**2.2.3.2. Recubrimientos y pinturas.** Investigaciones recientes han desarrollado una serie de productos y técnicas que permiten al magnesio y sus aleaciones tener un buen recubrimiento protector y resistencia a la corrosión, entre estos, la preparación de superficies de aleaciones de magnesio, la composición de pinturas anticorrosivas, dorado y plateado en aleaciones de magnesio-litio, entre otros.

**2.2.3.3. Industria Automotriz.** El magnesio tiene bastante acogida en la industria automotriz por sus buenas propiedades físicas y mecánicas. Siendo este un potencial aleante con el aluminio para los automóviles,

además, la aplicación del Magnesium Die Castings de alta calidad en la manufactura automotriz permite emplear las baterías electrolíticas.

## **2.3. Bases Teóricas**

### **2.3.1. Modelo Tecnológico MgNaTecS**

Innovar es utilizar el conocimiento y generarlo si es necesario para crear productos, servicios o procesos que son nuevos para la empresa, o mejorar los ya existentes, consiguiendo con ello tener éxito en el mercado. (Manual de Oslo, 1997).

El Modelo MgNaTecS emplea herramientas de Investigación: Desarrollo, innovación y emprendimiento social (I+D+i+e+s), Economía Azul, Economía Circular, así como también el Modelo de Negocios CANVAS y Emprendimientos Exponenciales; aplicados en el campo de la Tecnología Global del Magnesio para aplicarla en el contexto nacional al buen aprovechamiento de los recursos naturales que disponemos para generar nuevos negocios industriales que mejoren la calidad y cantidad de vida de la sociedad. Ver Figuras 10, 11, 12.

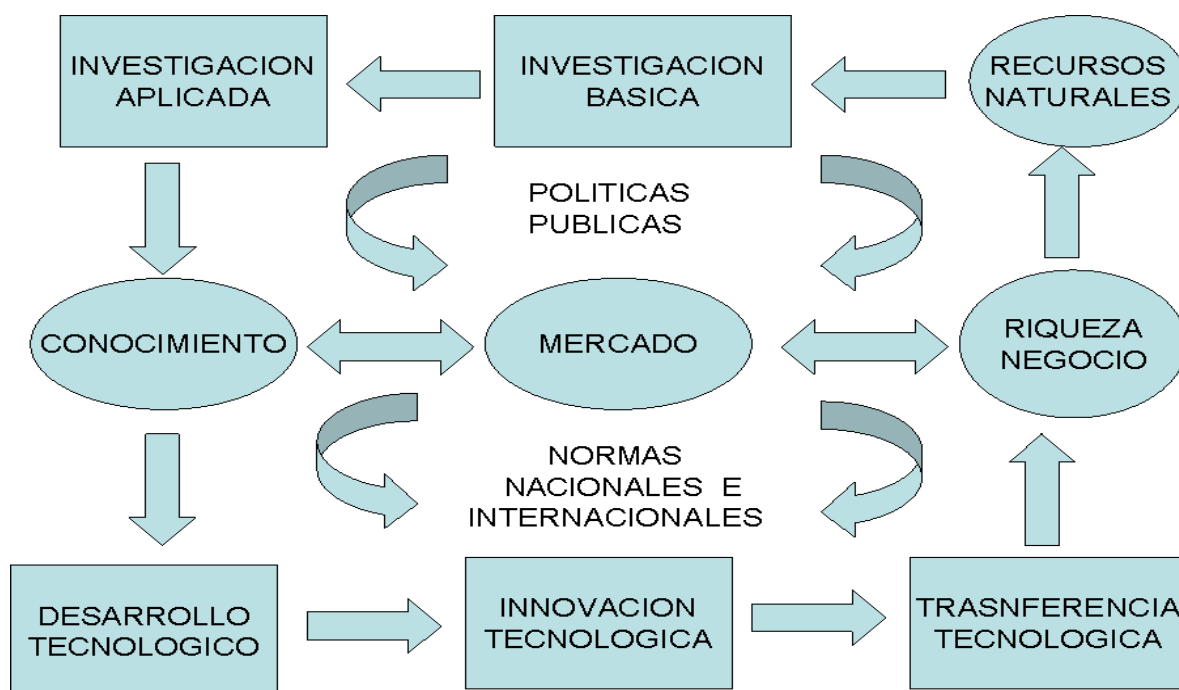
La investigación desarrollada se enmarca en el ciclo virtuoso para los recursos naturales, investigación básica, investigación aplicada, conocimiento generado, desarrollo tecnológico, innovación tecnológica, transferencia tecnológica para crear riqueza – negocio, mercado. Empleando políticas públicas y normas nacionales e internacionales. Ver Figura 10. La transferencia tecnológica del proyecto, el Negocio y el mercado la relacionamos con el modelo de negocios CANVAS. Figura 11.

La investigación básica y aplicada, desarrollo e innovación y transferencia tecnológica, lo relacionamos con el modelo tecnológico MgNaTecS investigación que venimos desarrollando con la presente tesis. Figura 12.



**Figura 10.**

Ciclo Virtuoso de la I+D+i+e+s.



*Nota. TECMETS – SIM3CAM – PQI*

Por lo tanto, cuando se habla propiamente de innovación, se hace referencia a todo cambio, basado en conocimiento de cualquier tipo, siempre que genera valor y cuando tenga consecuencias económicas directas. Evidentemente, entre ellas están las innovaciones tecnológicas. Muchos estudios han demostrado que son las que generan más beneficios porque no solamente son causa de mejores prestaciones en la oferta de la empresa, sino que son más difícilmente imitables y por lo tanto se mantienen en el mercado mayor tiempo como novedad. (Juan Mulet Meliá - Fundación COTEC).

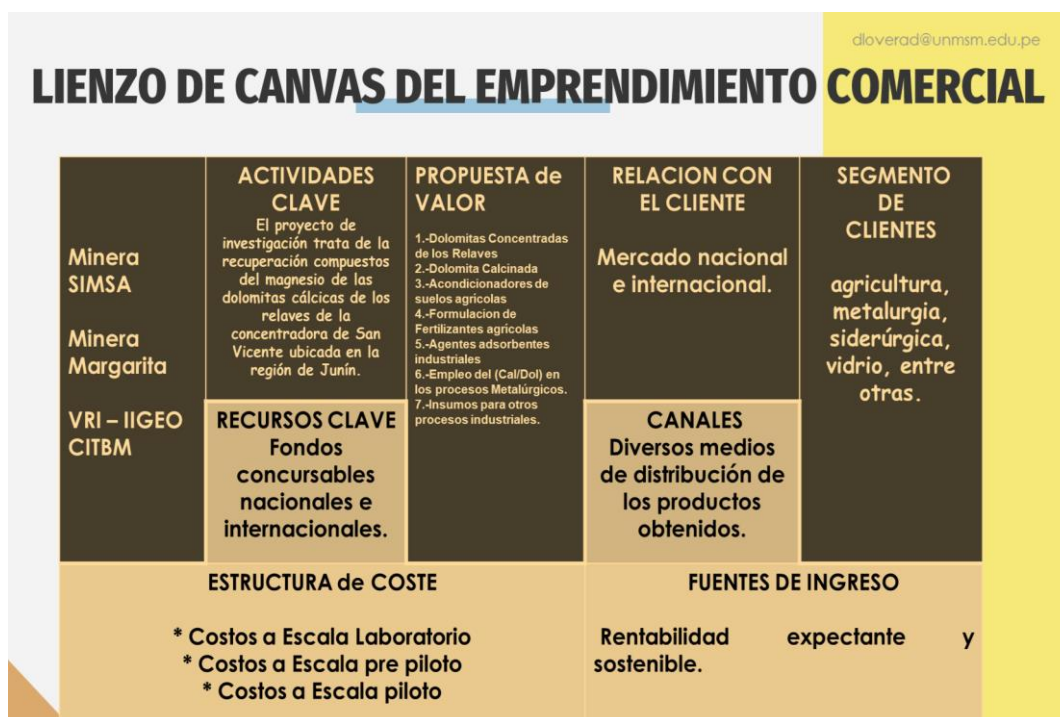
En este sentido la innovación en su ámbito de I+D+i se ha venido integrando en el tejido empresarial, y está ocupando un lugar preferente dentro de sus procesos tanto de producción como de proyección y aprovechamiento residual de sus actividades económicas, y por lo tanto deben estar incluidas dentro de cualquier propuesta o dimensionamiento estratégico que pueda surgir dentro del desarrollo empresarial. (Jhon Medina,2018).

### 2.3.2. Modelo de Negocios CANVAS

El **modelo Canvas** es uno de los métodos más efectivos que existen para describir una idea de negocio de una manera sencilla, visual y comprensible. Se basa en el libro *The Business Model Canvas*, escrito por Alexander Osterwalder. Este modelo parte de la premisa de que cualquier empresa debe asentarse sobre cuatro pilares: **los clientes, la oferta, la infraestructura y la viabilidad económica**. (Lovera et al, 2021).

**Figura 11.**

Modelo De Negocios CANVAS

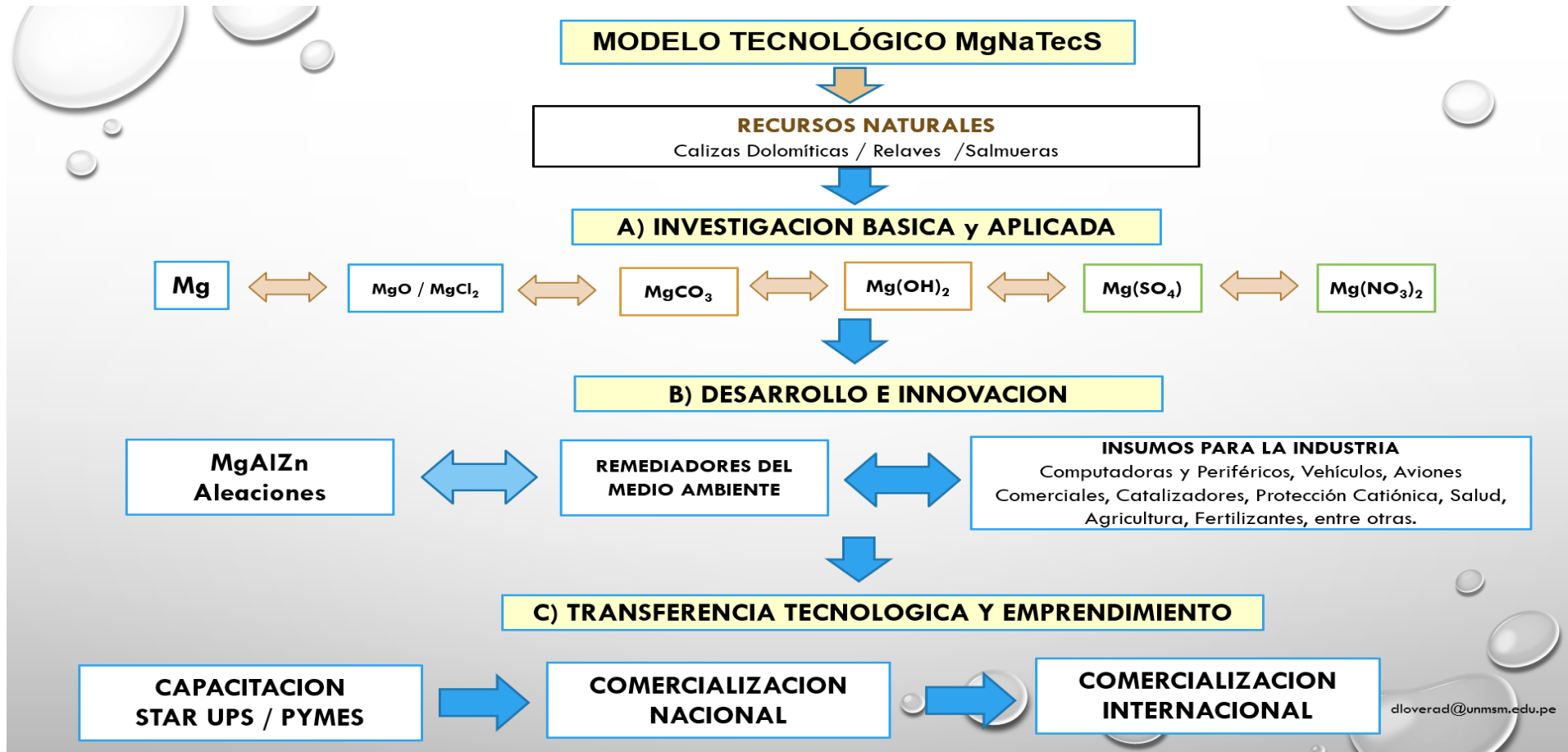


*Nota. TECMETS – SIM3CAM – PQI*

### 2.3.3. Descripción del Modelo Tecnológico MgNaTecS

Figura 12.

Descripción del Modelo Tecnológico MgNaTecS



## **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA**

### **3.1. Hipótesis**

#### ***3.1.1 Hipótesis General***

El Modelo MgNaTecS emplea recursos no metálicos dolomíticos nacionales con procesos tecnológicos para la obtención de productos y aleaciones livianas de magnesio, que permitirán la fabricación de piezas y equipos.

#### ***3.1.2 Hipótesis Específicas***

***Hipótesis Específica N°1.*** Caracterizar los recursos no metálicos dolomíticos nacionales empleando técnicas mineralógicas, químicas, físicas.

***Hipótesis específica N°2.*** Aplicar procesos tecnológicos químicos - metalúrgicos adecuados para producir productos y aleaciones livianas de magnesio.

***Hipótesis Específica N°3.*** La aplicación del Modelo MgNaTecS contribuye Tecnológica y Comercialmente en la obtención de productos de valor a lo largo del ciclo de vida del magnesio.

### **3.2. identificación de Variables**

#### ***3.2.1 Variables Independientes y Dependientes***

***Hipótesis Principal.***

**Variable Independiente:** Caracterizar, Procesos y Tecnologías comerciales.

**Variable Dependiente:** Modelo MgNaTecS

***Hipótesis Específica N°1***

**Variable Independiente:** Leyes, microscopias, rayos x, % Volumétrico.

**Variable Dependiente:** Peso de Calizas, Relaves Mineros.

***Hipótesis Específica N°2***

**Variable Independiente:** % Mg, % Al, % Zn, Tiempo, Temperatura, flujo de gas inerte, peso de MgO, peso MgCl<sub>2</sub>, Voltaje, Densidad de Corriente.

**Variable Dependiente:** Peso de aleación de Magnesio.

***Hipótesis Específica N°3***

**Variable Independiente:** Leyes, Pesos, tiempo, costos unitarios, temperatura, dureza, Resistencia de tracción y flexión. Tecnologías Comerciales.

**Variable Dependiente:** Productos de valor a lo largo del ciclo de vida del Magnesio.

### **3.3. Operacionalización de Variables**

Las especificaciones de las operaciones para medir las variables siguen según se muestran en el Cuadro 2.

**Cuadro 2.**

## Operacionalización de las variables

HIPÓTESIS	VARIABLES DEPENDIENTES	VARIABLES INDEPENDIENTES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
<b>Hipótesis General</b>	Modelo MgNaTecS	Caracterizar procesos y tecnologías comerciales.	DL <sub>1</sub> , DL <sub>2</sub> , DL <sub>3</sub>	Preparación de Muestras, Análisis Instrumental, Pruebas Experimentales, Modelos Termodinámicos, Cinéticos, Adimensionales. Programas de Simulación, Análisis Instrumental, Procesos Tecnológicos – Comerciales, Emprendimientos.
El Modelo MgNaTecS emplea los recursos no metálicos dolomíticos nacionales y procesos tecnológicos para la obtención de productos y aleaciones livianas de magnesio, que permitirán la fabricación de piezas y equipos.	Peso de aleación de magnesio (Mg,Al,Zn) empleando técnicas mineralógicas, químicas, físicas, y los recursos no metálicos nacionales para aplicar el <b>Modelo MgNaTecS</b> en la obtención de aleaciones livianas de Magnesio.	% Mg, % Al, % Zn, tiempo, temperatura, flujo de gas inerte, peso de MgO, peso de MgCl <sub>2</sub> , dureza, resistencia y tracción.	Número Adimensional DL <sub>1</sub>	Pruebas Experimentales, Modelos Termodinámicos, Cinéticos, Adimensionales. Programas de Simulación.
			Número Adimensional DL <sub>2</sub>	Procesos Tecnológicos – Comerciales Emprendimientos.
			Número Adimensional DL <sub>3</sub> magnesio.	Procesos Tecnológicos – Comerciales Emprendimientos
<b>Hipótesis Subsidiaria N°1</b> Caracterizar los recursos no metálicos dolomíticos nacionales empleando técnicas mineralógicas, químicas y físicas.	Peso de Calizas, Salmueras, Relaves Mineros	Leyes, microscopias, Rayos X, % Volumétrico.	Numero Adimensional DL <sub>1</sub>	Preparación de Muestras, Análisis Instrumental.
<b>Hipótesis Subsidiaria N°2</b> Aplicar procesos tecnológicos metalúrgicos adecuados para producir productos y aleaciones livianas de magnesio.	Peso de Pieza de Magnesio	% Mg, % Al, % Zn, tiempo, temperatura, flujo de gas inerte, peso de MgO peso MgCl <sub>2</sub> , Dureza y Resistencia Tracción.	Tostación Pirometalurgia	Pruebas Experimentales Modelos Termodinámicos, Cinéticos, Adimensionales. Programas de Simulación.
			Número Adimensional DL <sub>2</sub>	
<b>Hipótesis Subsidiaria N°3</b> La aplicación del Modelo MgNaTecS contribuye tecnológica y comercialmente en la obtención de productos de valor a lo largo del ciclo de vida del magnesio.	Producción de aleaciones livianas de magnesio	Leyes, pesos, tiempo, costos unitarios, temperatura, dureza, resistencia de tracción.	Número Adimensional DL <sub>3</sub>	Pruebas Experimentales, Análisis Instrumental, Estandarización de Resultados. Programas de Simulación y Emprendimiento Comercial

### **3.4. Metodología Desarrollada**

#### **Tipo y Diseño De Investigación**

Fundamental, Aplicativa e Innovativa

#### **Unidad De Análisis**

Recursos nacionales de calizas dolomíticas

#### **Población de Estudio**

Rocas Dolomíticas, Relaves Mineros.

#### **Tamaño de Muestra**

Se sugiere según conveniencia.

#### **Selección de Muestra**

Las muestras son recolectadas siguiendo pautas geo metalúrgicas y de muestreo y preparación de muestras.

#### **Técnicas de Recolección de Datos**

La metodología se basará en el desarrollo de pruebas experimentales para la obtención de aleaciones livianas y fabricar piezas y equipos.

Ver Cuadro 3.

#### **Diseño Específico**

Obtención de aleaciones livianas.

#### **Estructura del diseño** (<https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-magnesium-and-alloys>)

**Cuadro 3.**

Estructura del diseño

<b>Tipo de Pruebas</b>	<b>Resumen de Pruebas</b>	<b>Referencias Bibliográficas</b>
<b>Recursos Naturales Nacionales</b>	El Modelo MgNaTecS emplea los recursos no metálicos dolomíticos nacionales y procesos tecnológicos en la obtención de productos de aleaciones livianas de magnesio, que permitirán la fabricación de piezas y equipos.	Ramírez, A. et al., 1999. <i>El Magnesio en la Naturaleza</i> . <a href="https://www.radoctores.es/doc/1v3n1-ramirez%20ortega-magnesio.pdf">https://www.radoctores.es/doc/1v3n1-ramirez%20ortega-magnesio.pdf</a>
<b>Caracterización de la muestra: Químicas, Mineralógicas, Físicas.</b>	Caracterizar los recursos no metálicos dolomíticos nacionales empleando técnicas mineralógicas, químicas, y físicas.	Dana, E., Ford, W., 1976. <i>Tratado de Mineralogía, con un Tratado extenso sobre Cristalografía y Mineralogía física</i> .
<b>Procesos Químicos y Metalúrgicas</b>	Aplicar procesos tecnológicos metalúrgicos adecuados para producir productos y aleaciones livianas de magnesio.	INGEOMINAS., 2010. <i>Técnicas Mineralógicas, Químicas y Metalúrgicas</i> . <a href="https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documentos/Tecnicas-mineralogicas-quimicas-metalurgicas.PDF">https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documentos/Tecnicas-mineralogicas-quimicas-metalurgicas.PDF</a>
<b>Pruebas de Caracterización de Productos Metálicos y emprendimientos comerciales.</b>	La aplicación del Modelo MgNaTecS contribuye Tecnológica y Comercialmente en la obtención de productos de valor a lo largo del ciclo de vida del magnesio.	<i>Applus Laboratorio., s.f. Ensayos de Materiales Metálicos</i> . <a href="https://www.appluslaboratories.com/dam/PDFServices/Laboratories/GLOBAL/ensayos-de-materiales-metalicos-es.pdf">https://www.appluslaboratories.com/dam/PDFServices/Laboratories/GLOBAL/ensayos-de-materiales-metalicos-es.pdf</a>

**ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Todo el procesamiento de los datos de entrada, de proceso y de salida se abordarán siguiendo las pautas mostradas en el Cuadro 4



**Cuadro 4.**

Análisis e Interpretación de la Información.

ENTRADAS	<i>MgNaTecS: PROCESOS y TECNOLOGÍAS DE METALURGIA RECUPERATIVA</i>					SALIDAS
<b>RECURSOS NATURALES</b>  <b>Calizas Dolomíticas/ Relaves Mineros/ Salmueras del Agua de Mar</b>	<b>CARACTERIZACIÓN</b>	<b>PROCESOS</b>	<b>TECNOLOGÍAS</b>	<b>PRODUCTOS</b>	<b>MODELOS</b>	<b>Sales de Magnesio, Magnesio Metálico, Aleaciones de Magnesio, Piezas de aleaciones de magnesio, Capacitaciones en Investigación, Desarrollo Innovación e Emprendimiento.</b>
	Caracterización Mineralógica	Tostación Pirometalúrgico	Reducción Silicotérmica	Fusión, Colada de Aleantes livianos.	Obtención de Aleaciones	
	Caracterización Química	Lixiviación Química	Electrodeposición de Sales Fundidas	Magnesio Metálico	Obtención de Metales	
	Caracterización Física	Calcinación	Procesos Metalúrgicos	Calcinas dolomíticas	Obtención de óxidos	
	Caracterización Metalúrgica	Electrolisis de Sales Fundidas	Electrodeposición de Sales Fundidas	Magnesio Metálico	Obtención de Metales	
	Caracterización de Materiales Metálicos	Fusión y Moldeo de piezas aleadas de magnesio	Procesos Pirometalúrgicos	Aleaciones livianas de Magnesio	Obtención de Aleaciones	

## CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

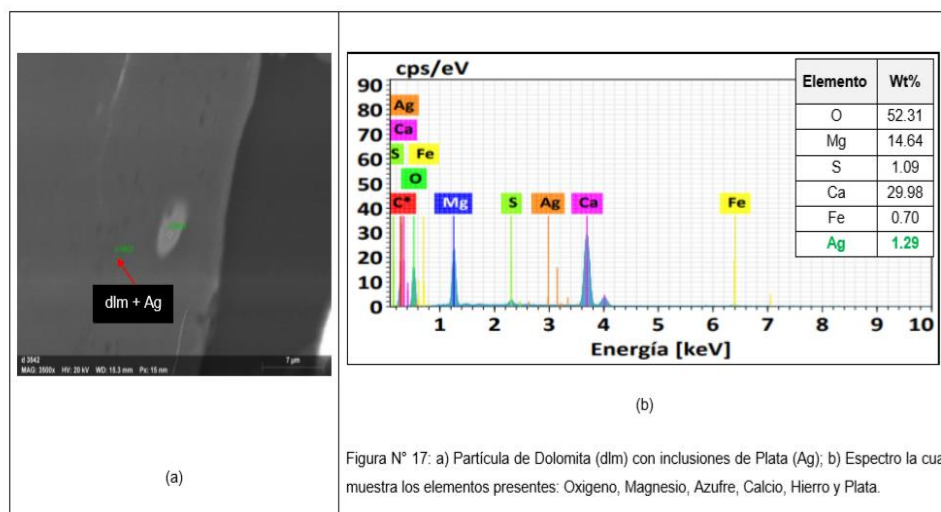
### 4.1 Análisis e Interpretación

#### 4.1.1 Caracterización de la muestra

Muestras de los relaves mineros (Zona Cordillera Oriental) que están almacenados en cancha de relaves (Activos Mineros) son caracterizados convenientemente como se muestran en el Difractograma de Rayos X. Ver Figura 13.

#### Figura 13.

Difractograma de los Relaves Dolomíticos.



Según la operacionalización de las variables Cuadro 2 y 3 las variables que intervienen en la Hipótesis Específica 1, son modeladas empleando los conceptos de fenómenos de Transporte – Teorema Pi de Buckingham para sintetizar el presente número adimensional ( $DL_1$ ) y se valida con data de caracterización que se muestra en el Cuadro 5.

### Nro. Adimensional de Caracterización ( $DL_1$ ):

$$\begin{array}{c}
 \text{Análisis Mineralógico} \quad \text{Análisis Microscópico} \\
 \text{Electrónico} \\
 \downarrow \qquad \qquad \qquad \downarrow \\
 (DL_1) = \left( \frac{(\%CaCO_3 * MgCO_3)}{(\%MgO)(\%CaO)(\%ZnO)} \right) * \left( \frac{\text{Tamaño}}{\text{Rayos X}} \right)^2 \quad (1.0) \\
 \uparrow \qquad \qquad \qquad \uparrow \\
 \text{Análisis Químico} \quad \text{Análisis Físico}
 \end{array}$$

#### Cuadro 5.

Cuantificación de las Variables de Caracterización

Variables	Muestra A1	Muestra A2	Muestra A3
$\%CaCO_3 * MgCO_3$	96	93	41.40
$\%MgO$	20.28	14.64	13.91
$\%CaO$	29.34	29.98	28.40
$\%ZnO$	0.2	1.06	1.0
Tamaño de Muestra ( $\mu\text{m}$ )	$3.25 \times 10^5$	$3.25 \times 10^5$	$3.25 \times 10^5$
Longitud de Onda ( $\mu\text{m}$ )	$36 \times 10^{-7}$	$36 \times 10^{-7}$	$36 \times 10^{-7}$
Número Adimensional ( $DL_1$ )	$6.57468E+17$	$1.62917E+17$	$8.54E+20$

#### 4.1.2 Desarrollo de Procesos Pirometalúrgicos

Según la operacionalización de las variables Cuadro 2 y 3 las variables que intervienen en la Hipótesis Especifica 2, son modeladas empleando los conceptos de fenómenos de Transporte – Teorema Pi de Buckingham para sintetizar el presente número adimensional ( $DL_2$ ) y se valida con data de Procesos Pirometalúrgicos que se muestra en el Cuadro 6.

**Nro. Adimensional de Procesos (DL<sub>2</sub>):**

$$(DL)_2 = \frac{[W_{aleación}] * [f_{gas}]^{1/3}}{[Pot] * [t]^{2/3} * [\%Mg] * \left[ \frac{T - T_{oo}}{T_o - T_{oo}} \right] * [\%Zn]} \quad (2.0)$$

**Cuadro 6.**

Cuantificación de las Variables de Procesos Pirometalúrgicos

Variables	Muestra A1	Muestra A2	Muestra A3
Peso MgO (g)	10	30	50
Flujo de Argón (cm <sup>3</sup> /min)	45	45	45
Potencia Eléctrica (Kw-h)	100	100	100
Tiempo (min)	60	60	60
% Mg	99	99	99
Temperatura (°C)	1200	1200	1200
% Zinc	1	1	1
T <sub>o</sub> (°C)	30	30	30
T <sub>∞</sub> (°C)	25	25	25
Número Adimensional (DL <sub>2</sub> )	1.27405E-08	3.82215E-08	6.37025E-08

**4.1.3 Contribución de Tecnológica y Comercial**

Según la operacionalización de las variables Cuadro N°2 y 3 las variables que intervienen en la Hipótesis Especifica 3, son modeladas empleando los conceptos de fenómenos de Transporte – Teorema Pi de Buckingham para sintetizar el presente número adimensional (DL<sub>3</sub>) y se valida con data Tecnológica y Comercial que se muestra en el Cuadro 7.

**Nro. Adimensional de Tecnología (DL<sub>3</sub>):**

$$DL_3 = \frac{W_{Aleación MgAlZn} * \left[ \frac{Dureza}{Area} \right] * [Modulo de Young] * \%Mg}{[Resistencia Tracción^2] * \left[ \frac{T - T_{oo}}{T_o - T_{oo}} \right]} \quad (3.0)$$

**Cuadro 7.**

Cuantificación de las Variables de Tecnología Comercial

<b>Variables</b>	<b>Muestra A1</b>	<b>Muestra A2</b>	<b>Muestra A3</b>
<b>Peso Aleación (g)</b>	100	200	300
<b>Dureza (HB)</b>	30	35	40
<b>Módulo de Young (MPa)</b>	45.109	45.109	45.109
<b>% Mg</b>	80	85	90
<b>Resistencia Tracción (MPa)</b>	185	195	205
<b>Temperatura (°C)</b>	1000	1100	1200
<b>To (°C)</b>	25	25	25
<b>T<sub>∞</sub> (°C)</b>	20	20	20
<b>Número Adimensional (DL<sub>3</sub>)</b>	1.613893651	3.267812964	4.912100344

**4.2 Discusión de Resultados****4.2.1 Caracterización de la muestra**

Caracterizamos empleando técnicas mineralógicas, químicas, físicas, los recursos no metálicos nacionales empleados por el Modelo MgNaTecS razón de ser de la presente investigación para la obtención de aleaciones livianas de Magnesio. En el Cuadro 8 se muestra un comparativo del precio internacional del magnesio frente a otros metales.

**Cuadro 8.**

Comparativo del precio del Magnesio frente a otros metales.

<b>Metales</b>	<b>Dólares Estadounidenses</b>	<b>Soles Peruanos</b>
Magnesio (1 T)	3,405.32	13,286.80
Carbón (1 T)	354.00	1,381.23
Zinc (1 T)	3,487.50	13,607.44
Aluminio (1 T)	2,642.00	10,308.49
Carbonato de Litio (1 T)	70,391.39	274,651.43
Nickel (1 T)	28,953.00	112,968.12
Estaño (1 T)	30,850.00	120,369.79
Cobre (1 T)	9,416.15	36,739.72
Plomo (1 T)	2,158.25	8,421.01
Oro (1 onza troy)	1,929.2	7,527.31
Plata (1 onza troy)	24.00	93.64
Cobalto (1 T)	49,000.00	191,187.02

Nota: <https://tradingeconomics.com/>

La Figuras 14 y 15 se muestra la caracterización mineralógica por microscopia electrónica de los minerales presentes en la muestra dolomítica, su relación con los elementos presentes, destacándose la presencia de oro y plata como se muestran coloreados.

**Figura 14.**

Estudio Mineralógico por Microscopia Electrónica – I

Minerales	Composición Química (%)																TOTAL	
	S	Fe	Cl	Ag	Au	O	Pb	F	Si	Ca	K	Ti	Al	Mg	Zn	Cr		P
Hematita en Piritita	14.72	43.92				20.83			0.93	8.28			1.94	3.98		5.39		100
Piritita	51.08	47.22				0.73							0.97					100
Pirrotita + Au	20.84	60.51			1.4	2.98				0.21		9.58	2.56	0.16	1.77			100
Rutilo		0.42				17.62			1.37	4.6	0.63	69.42	4.75	1.18				100
Apatito + Ag	0.34	1.07		0.6		39.57		2.9		39.73			0.89	4.29			10.61	100
Pirrotita en Dolomita	6.21	8.74		1.33		41.84			0.44	26.06			0.68	13.63	1.06			100
Pirrotita en Dolomita	8.9	9.12		1.23		41.44				27.2				12.11				100
Piritita en Dolomita	50.97	47.77								1.26								100
Dolomita			0.13			49.7				32.75			0.32	17.1				100
Pirrotita y Galena en Piritita	41.61	48.98					8.44						0.98					100
Piritita	51.28	47.12				0.95							0.64					100
Pirrotita y Galena en Piritita	44.16	45.48				0.87	8.74						0.75					100
Piritita	52.64	45.58				1.05							0.74					100

**Figura 15.**

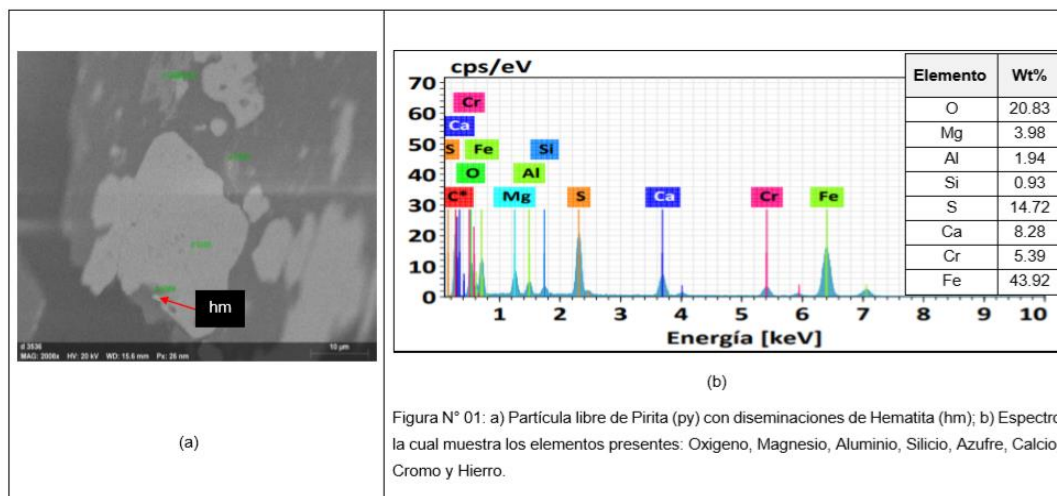
Estudio Mineralógico por Microscopia Electrónica – II.

Pirrotita + Galena + Au	27.93	60.93			0.16	0.51	4.87			0.05			5.56					100
Pirrotita + Au	41.59	54.77			0.25	0.68							2.71					100
Dolomita + Ag		0.6		1.54		45.12				31.29			2.18	19.28				100
Dolomita + Ag	1.09	0.7		1.29		52.31				29.98				14.64				100
Piritita en Dolomita	48.51	47.59				2.08				1.34			0.48					100
Piritita	48.76	49.5				1.11							0.63					100
Dolomita + Ag	0.69	1.39		1.25		52.82				29.97			0.48	13.4				100
Piritita + Au	50.7	47.29			0.18	1.32							0.51					100
	S	Fe	Cl	Ag	Au	O	Pb	F	Si	Ca	K	Ti	Al	Mg	Zn	Cr	P	

Las figuras 16, 17 y 18 muestran los difracto gramas de rayos x de los elementos presentes en la muestra dolomítica destacándose el magnesio, calcio, fierro, oro entre otros.

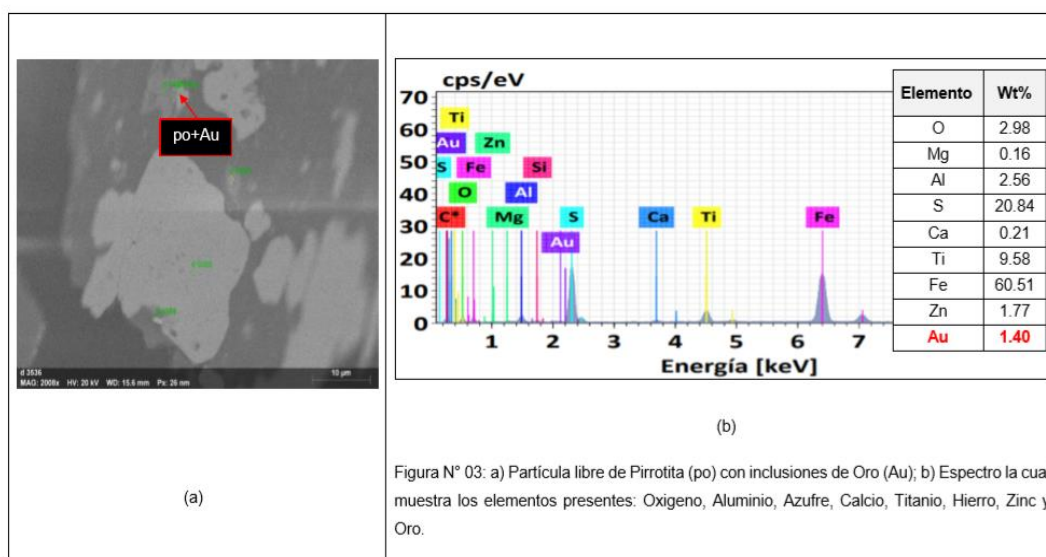
**Figura 16.**

Espectros de los Elementos Presentes – I.



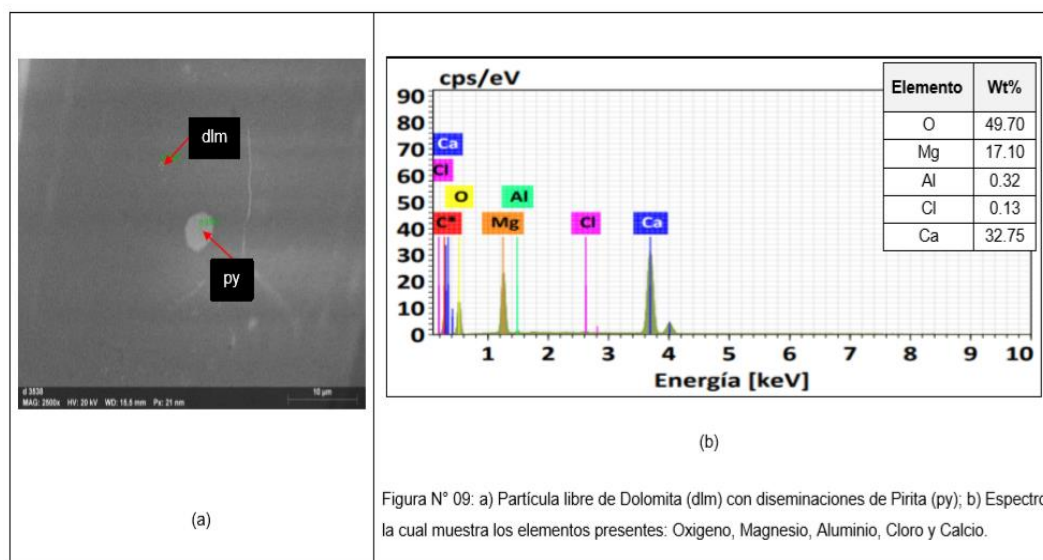
**Figura 17.**

Espectros de los Elementos Presentes – II.



## Figura 18

Espectros de los Elementos Presentes – III.



La figura 19 nos muestra el análisis Mineralógico por Difracción de Rayos X del relave minero conteniendo la dolomita como especie mineralógica principal frente a las otras especies presentes.

## Figura 19.

Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos X.

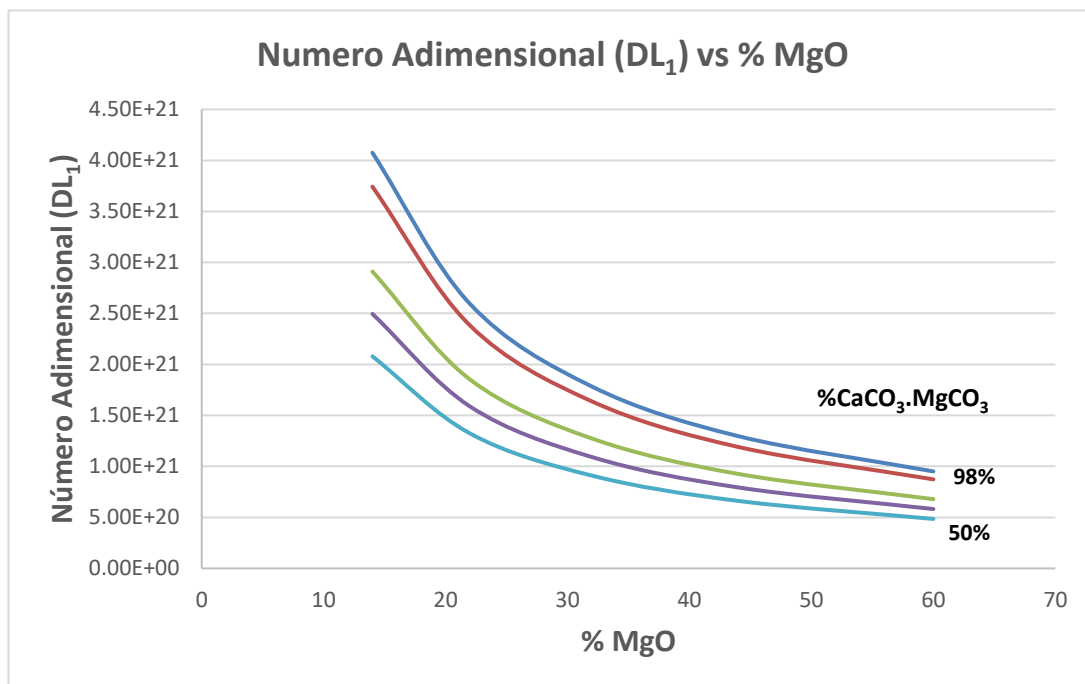
Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	93.0
Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3.1
Cuarzo	$\text{SiO}_2$	1.5
Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$	1.4
Calcita	$\text{CaCO}_3$	1.0

Figura 20 nos muestra la correlación entre el número adimensional  $DL_1$  y el % de  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  y el %  $\text{MgO}$ , para los cálculos de balance de masa correspondientes dentro del Modelo MgNaTecS.



**Figura 20.**

Numero Adimensional (DL1) función del (% MgO, % CaCO<sub>3</sub>.MgCO<sub>3</sub>)



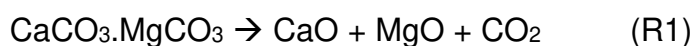
#### 4.2.2 Desarrollo de Procesos Pirometalúrgicos

El Modelo MgNaTecS nos permite aplicar procesos y tecnologías adecuadas a los recursos no metálicos nacionales de calizas dolomíticas, relaves de mineras, salmueras entre otros para producir magnesio y aleaciones de gran importancia.

##### I.- Cinética de la calcinación de la dolomita

**i.-Reacción Química de Calcinación.** La calcinación consiste en el calentamiento sin fusión de minerales o concentrados, con el propósito de modificar sus características químicas y/o físicas.

La reacción ocurre:



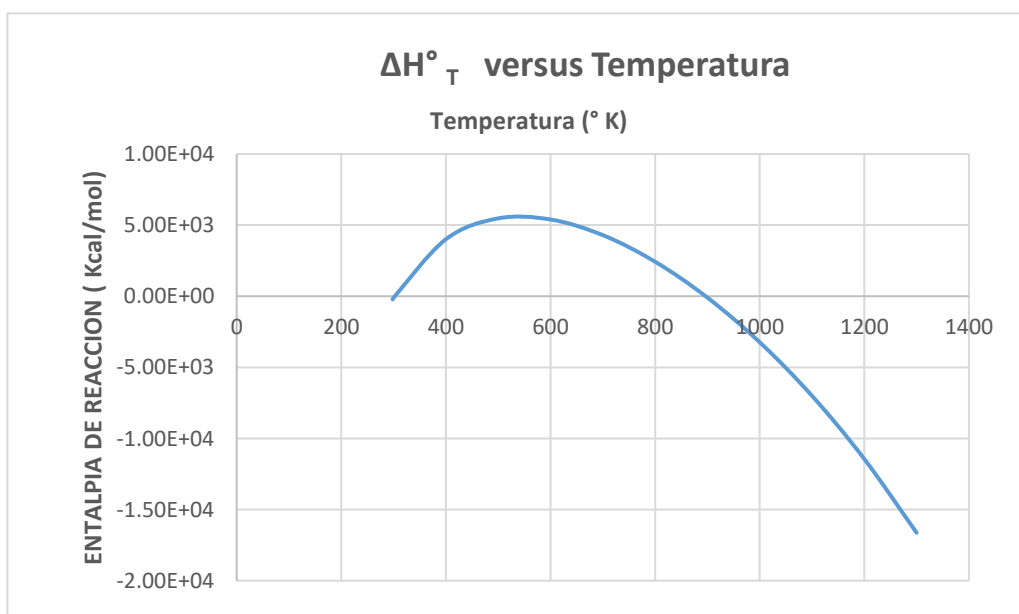
La temperatura tiene un papel importante en la velocidad de calcinación de la dolomita.

**ii.-Procedimiento Experimental.** Pesar la Dolomita (10 g) a un tamaño determinado de partícula, preparar los pellets para las pruebas de variación de temperatura (5 crisoles por prueba) Introducir al horno sobre crisoles y proveer el ingreso de aire, temperatura de calcinación 600 y 700°C, el tiempo de calcinación será fijado para el proceso (10, 20, 30, 45 y 60 minutos). Efectuar la comparación del contenido crudo y la calcina mediante observación al microscopio, lavar el calcinado para observar la solubilidad en agua.

**iii.- Termodinámica de la Calcinación de la Dolomita.** Los cálculos termodinámicos de la reacción de Calcinación de la Dolomita de la Entalpia de Reacción, Entropía de la Reacción y Energía Libre de Gibbs de Reacción en función de la Temperatura, se muestran en las Figuras 21, 22 y 23.

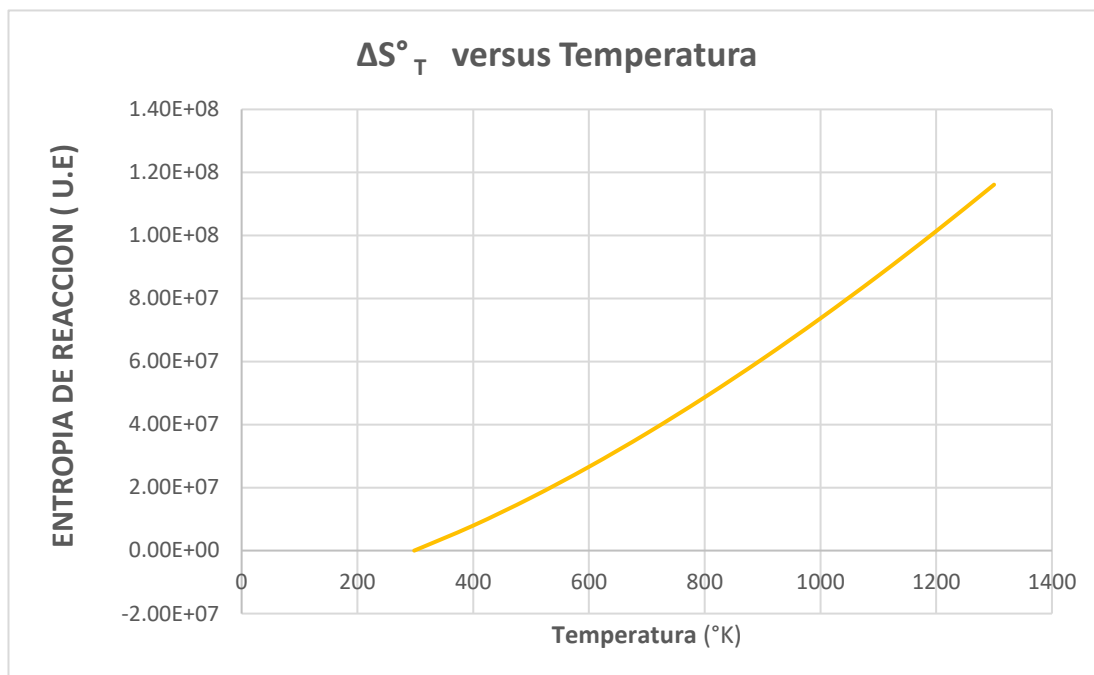
**Figura 21.**

Entalpia de Reacción versus la Temperatura

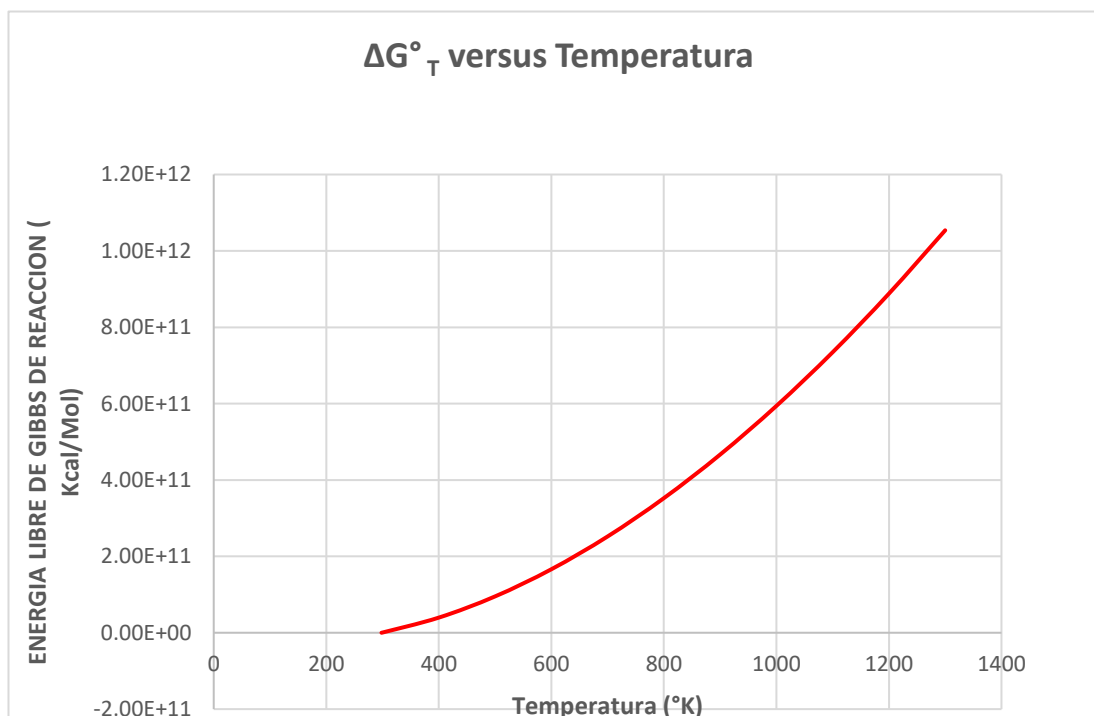


**Figura 22.**

Entropía de Reacción versus la Temperatura

**Figura 23.**

Energía Libre de Reacción versus la Temperatura



**iv.- Ecuación Cinética de Calcinación.** La Ecuación Cinética de la Calcinación de la Dolomita en función de la Temperatura y el Tiempo está dada por la expresión (4.0) y en Figura 24

$$-\ln(1-\alpha) = \left( \exp \left[ -\frac{68536}{T+273.1} + 1.971 \right] * t \right)^{0.9664} \quad (4.0)$$

donde:

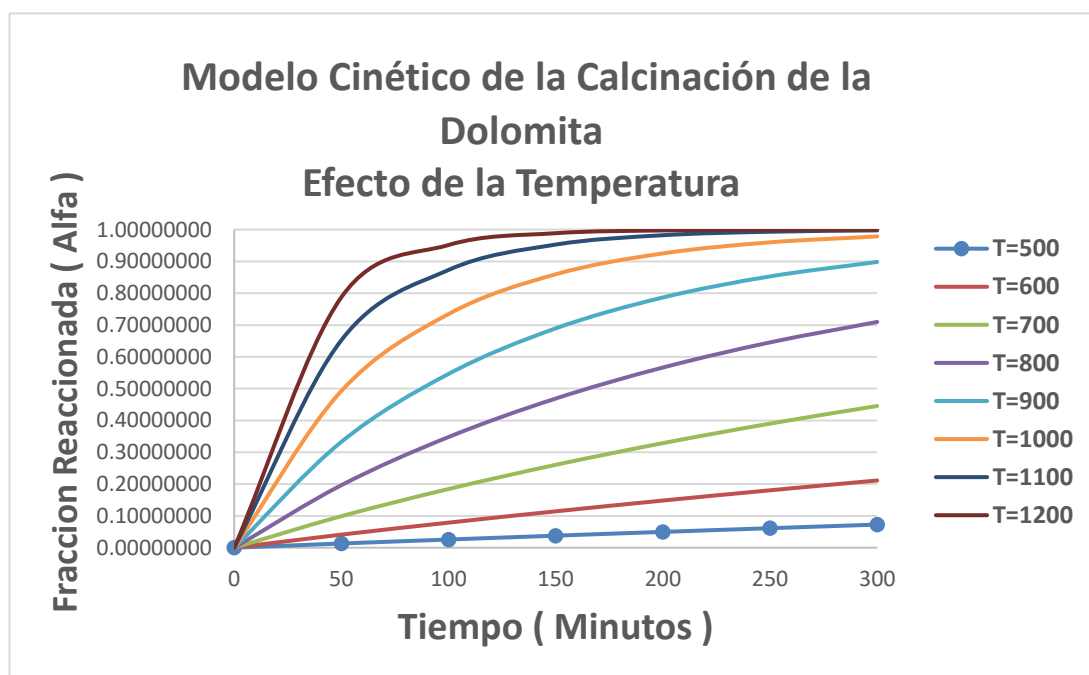
Alfa = Fracción Reaccionada de la Dolomita

t = Tiempo de Reacción (minutos)

T = Temperatura de Reacción (°C)

**Figura 24.**

Modelo Cinético de la Calcinación de la Dolomita – Efecto de la Temperatura



## **II.- Cinética de la reducción silicotérmica del magnesio**

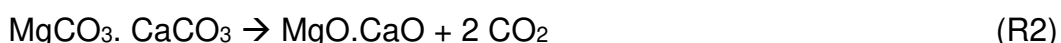
El proceso silicotérmico con ferrosilicio en una relación de 5:1 para producir magnesio metálico y ferro silicato di cálcico. Se le conoce como el proceso de PIDGEON, se usa ampliamente en Canadá, su país de origen y uno de los principales productores de magnesio.

La dolomita calcinada se prefiere al óxido de magnesio por este proceso de reacción silicotérmica, debido a que el CaO desplaza al MgO previniendo la formación de MgSiO<sub>2</sub>. (George T Austin – 1989).

Pero si no hay CaO presente, el silicato se une consumiendo una gran parte del magnesio disponible. El aluminio puede sustituirse como un agente reductor en lugar del ferrosilicio, pero por lo general es más costoso, y se emplea ferrosilicio que es más barato.

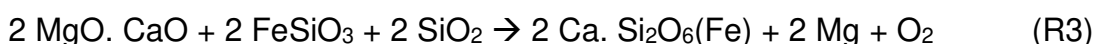
### ***i.-Reacciones Químicas de Reducción Silicotermica del Magnesio***

***Primera Etapa.*** Tostación de la Dolomita a 700°C x 4 horas



Malla 200, 200 g, Tiempo = 1 Hora

***Segunda Etapa.*** Reducción Térmica del Mg asistida Con FeSiO<sub>3</sub> a 700, 800 y 900°C



Para la obtención del ferro silícico di cálcico y magnesio elemental, variar la relación molar de óxido de Calcio y Magnesio a Ferro silicio, entre ellas (1:3, 1:1, 3:1 y 5:1)

### ***ii.-Procedimiento Experimental***

Pesar 20 g de dolomita y llevar al horno, luego efectuar la Tostación a 700 °C por 4 h. Preparar briquetas con adición de FeSiO<sub>3</sub> y cemento. Proceder a secar las briquetas a temperatura ambiente, para luego pesar las briquetas e introducir al horno. Efectuar la reducción a la temperatura mencionada, ir retirando a intervalos de 10 minutos para tener la cinética de reacción. Dejar enfriar para luego pesar. Finalmente preparar probetas con la adición de un aglomerante. Describir microscópicamente sus cambios morfológicos. Ver Figuras 62 y 63.

### iii.- Termodinámica de la Reducción Silicotermica del Magnesio

El Proceso de Reducción Silicotermica del Magnesio tiene la reacción química (4), con las ecuaciones Termodinámicas para calcular sus diferencias de Entropías, Entalpías y Energía Libre de Reacción mostradas a continuación, ver ecuaciones (5), (6), (7), (8) y (9):

$$Cp = A_1 + A_2T + A_3T^{-2} + A_4T^{-0.5} + A_5T^2 \quad (5.0)$$

$$\Delta S = \Delta S_0 + \Delta A_1 \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + \Delta A_2(T - T_0) + \Delta A_3\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right) + \frac{\Delta A_4}{0.5+1}(T^{0.5+1} - T_0^{0.5+1}) + \frac{\Delta A_5}{2}(T^2 - T_0^2) \quad (6.0)$$

$$\Delta H = \Delta H_0 + \Delta A_1(T - T_0) + \frac{\Delta A_2}{2}(T^2 - T_0^2) - \Delta A_3\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right) + 2\Delta A_4(T^{0.5} - T_0^{0.5}) + \frac{\Delta A_5}{3}(T^3 - T_0^3) \quad (7.0)$$

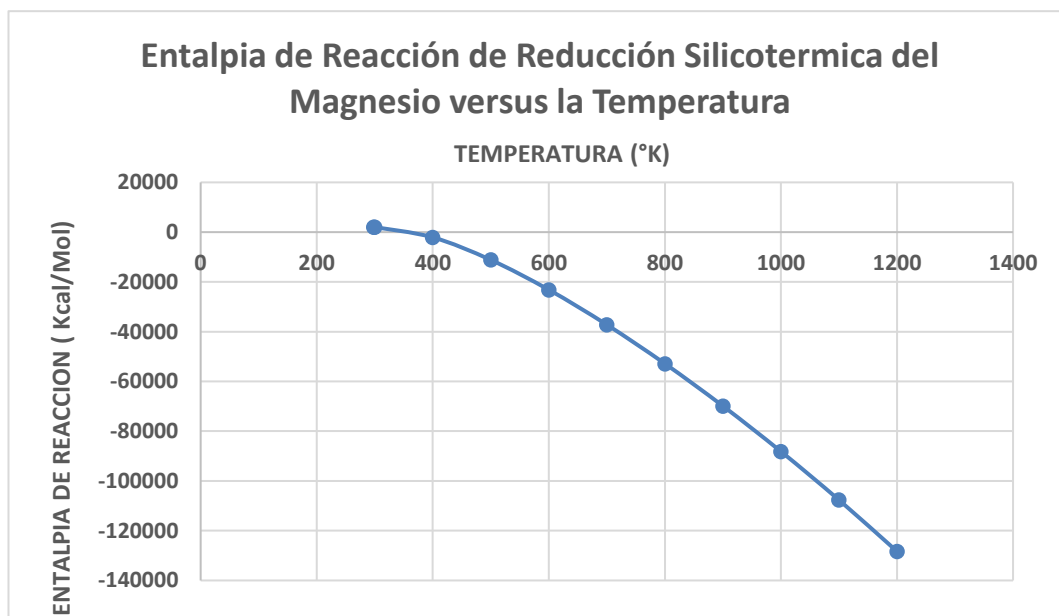
$$\left(\frac{\partial(\Delta G/T)}{\partial T}\right) = \left(\frac{\Delta H_0}{RT^2}\right) + \left(\frac{\Delta A_1}{RT}\right) - \left(\frac{\Delta A_1 T_0}{T^2}\right) + \frac{\Delta A_2/2}{R} - \frac{\Delta A_2/2 T_0^2}{RT^2} - \frac{\Delta A_3}{RT^3} + \frac{\Delta A_3}{RT^3} \frac{1}{T^2} + \left(\frac{2A_4}{RT^{1.75}}\right) - \left(\frac{2A_4 T_0^{0.5}}{RT^2}\right) + \left(\frac{\Delta A_5 T}{3R}\right) - \left(\frac{\Delta A_5 T_0^3}{3RT^2}\right) \quad (8.0)$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta \sigma}{T} = & \frac{\Delta \sigma_0}{295.15} - \frac{\Delta H_0}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right) + \frac{\Delta A_1}{R} \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) + \Delta A_1 T_0 \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right) + \frac{\Delta A_2}{2R} (T - T_0) \\ & + \frac{\Delta A_2 T_0^2}{2R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right) + \frac{\Delta A_3}{2R} \left(\frac{1}{T^2} - \frac{1}{T_0^2}\right) - \frac{\Delta A_3}{RT_0} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right) \\ & + \frac{2A_4}{R(0.75)} (T^{0.75} - T_0^{0.75}) + \left(\frac{2A_4 T_0^{0.5}}{R}\right) \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right) + \frac{\Delta A_5}{6} (T^2 - T_0^2) \quad (9.0) \end{aligned}$$

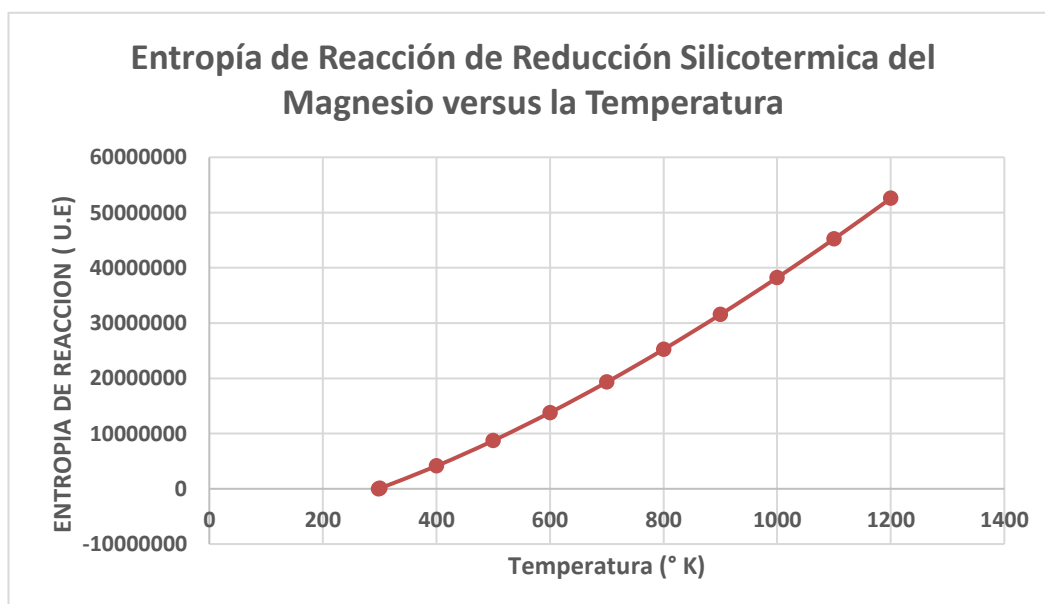
Los cálculos termodinámicos de la reacción de Reducción Silicotermica del Magnesio de la Entalpia de Reacción, Entropía de la Reacción y Energía Libre de Gibbs de Reacción en función de la Temperatura, se muestran en las Figuras 25, 26 y 27.

**Figura 25.**

Entalpia de Reacción de Reducción Silicotermica del Magnesio versus la Temperatura. Tenemos el progreso de la Entalpia con la temperatura, que nos permite evaluar termodinámicamente la reacción Silicotermica del magnesio.

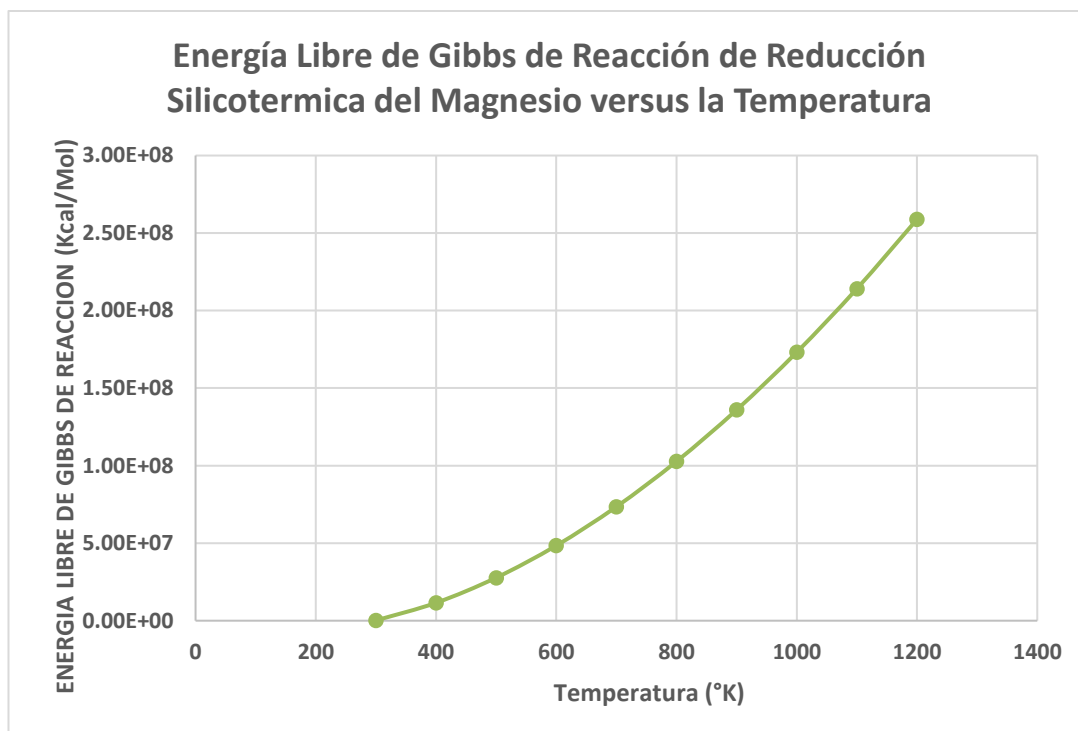
**Figura 26.**

Entropía de Reacción de Reducción Silicotermica del Magnesio versus la Temperatura. Tenemos el progreso de la Entropía con la temperatura, que nos permite evaluar termodinámicamente la reacción Silicotermica del magnesio.



**Figura 27.**

Energía Libre de Gibbs de Reacción de Reducción Silicotermica del Magnesio versus la Temperatura. Tenemos el progreso de la Energía Libre de Gibbs con la temperatura, que nos muestra la endotermicidad de la reacción Silicotermica del magnesio.



#### ***iv.- Ecuación Cinética de la Reducción Silicotermico del Magnesio***

$$(- \ln (-(1-\alpha))) = kt \quad (10.0)$$

Donde:

$$\alpha = (W - W_0) / W_0$$

t = Tiempo de reacción

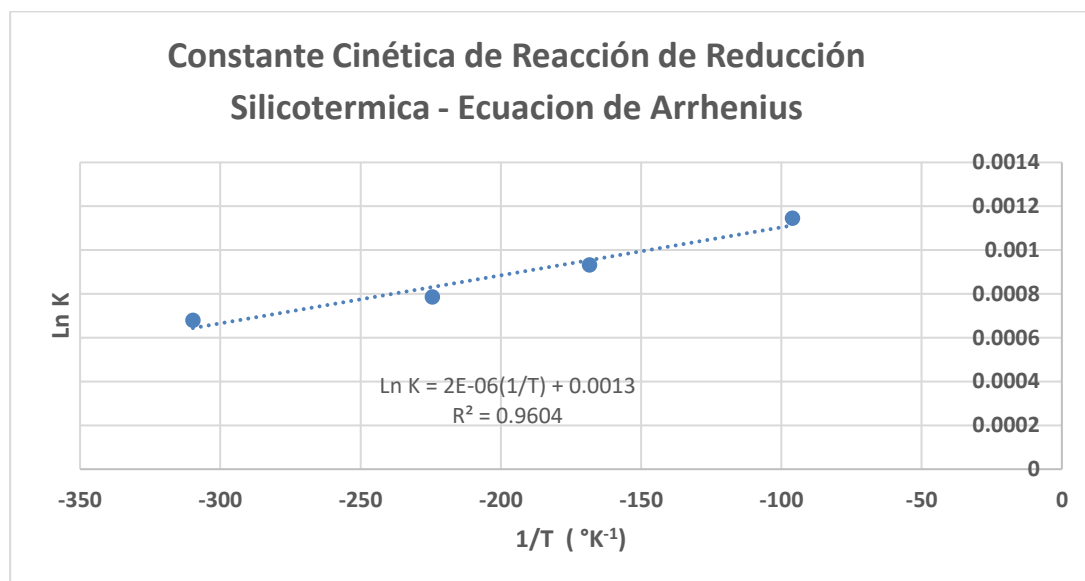
k = Constante Silicotermica



Cálculos cinéticos de la Reducción Silicotermica del Magnesio en función de la Temperatura y la Relación Molar, se muestran en las Figuras 28, 29, 30 y 31.

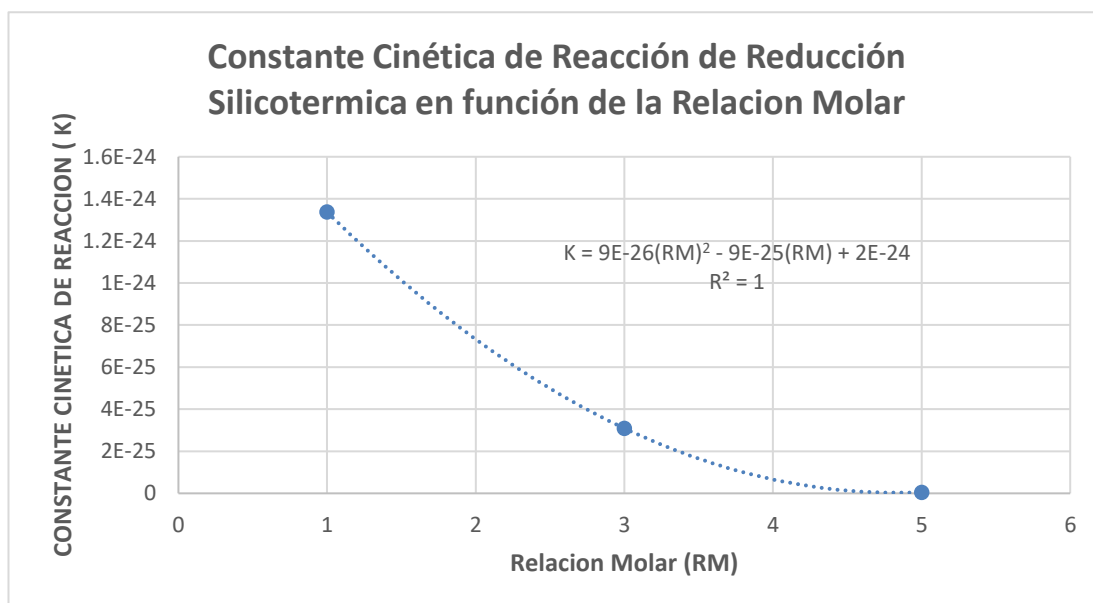
**Figura 28.**

Constante Cinética de Reacción de Reducción Silicotermica en función de la Temperatura



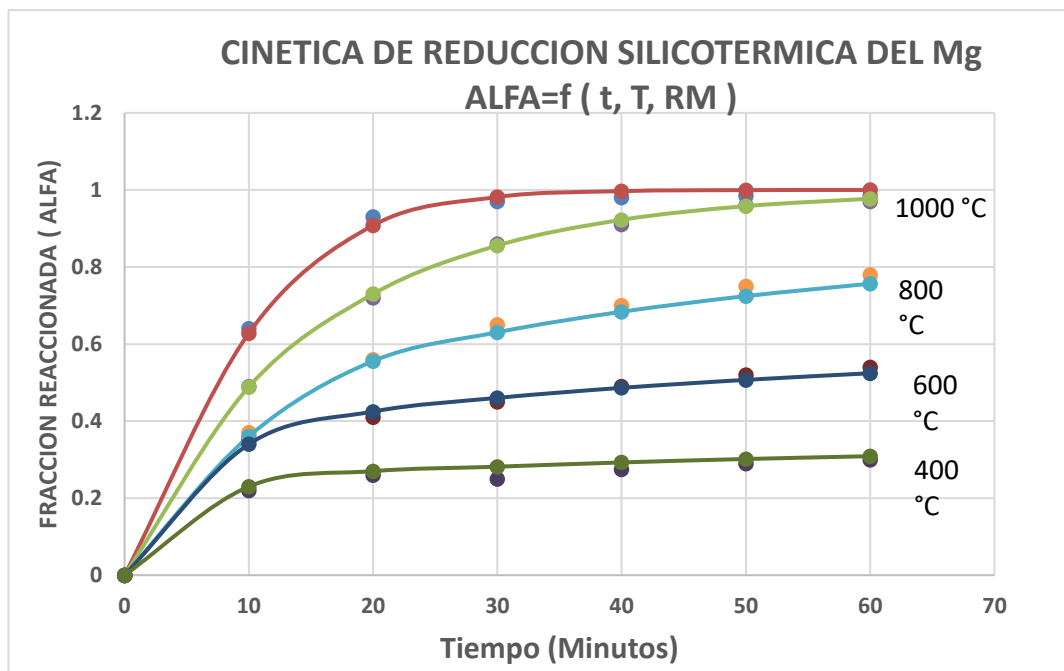
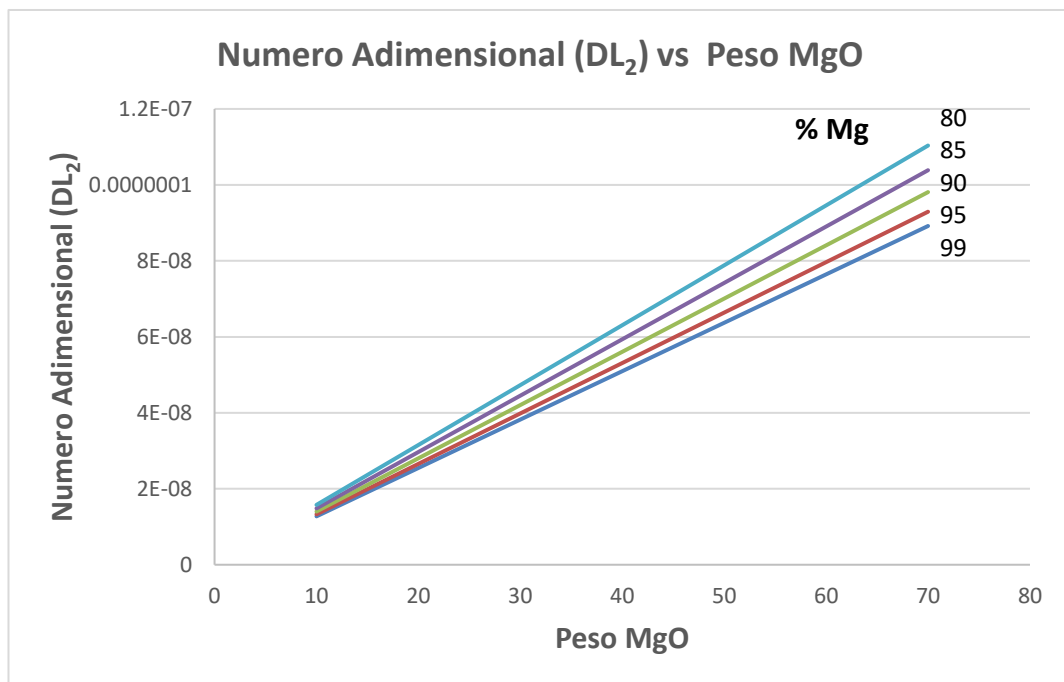
**Figura 29.**

Constante Cinética de Reacción de Reducción Silicotermica del Magnesio en función RM



**Figura 30.**

Cinética de la Reducción Silicotérmica del Mg - ALFA= f (t,T,RM)

**Figura 31.**Numero Adimensional ( $DL_2$ ) función (Peso MgO, % Mg)

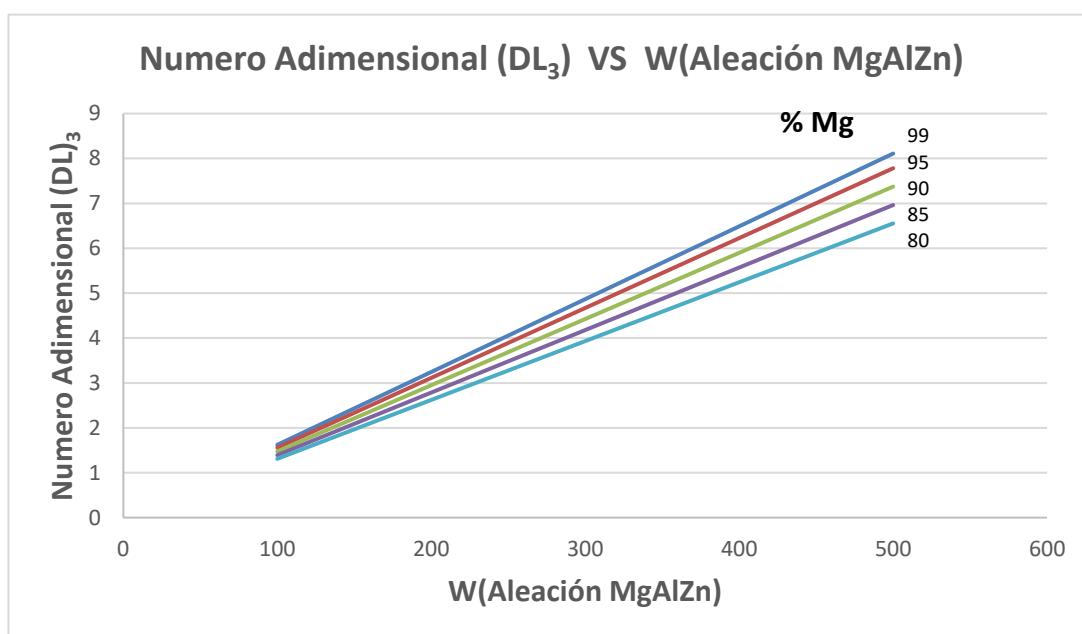
### 4.2.3 Contribución de Tecnológica y Comercial

El Modelo MgNaTecS muestra la Tecnología – Comercial en la fabricación de piezas y equipos acorde a normas internacionales (Calidad, Medio Ambiente y Seguridad). Tal como el caso de innovación y emprendimientos de productos terminados para el vasto mercado nacional y posteriormente internacional.

Las variables tecnológicas son monitoreadas con el número adimensional ( $DL_3$ ), resultados en la Figura 32.

**Figura 32.**

Numero Adimensional ( $DL_3$ ) función (Peso Aleación MgAlZn, % Mg)



### 4.2.4 Lienzo CANVAS del Producto Comercial CALMAG

Mostramos el Lienzo CANVAS de la interacción de la propuesta de valor tecnológico con las estrategias del negocio para insertarnos en el mercado nacional. Ver Figura 33.

**Figura 33.**

Lienzo CANVAS - Recuperación de Compuestos de Magnesio de los Relaves.

<b>Minera SIMSA</b>  <b>Minera Margarita</b>  <b>VRI – IIGEO</b> <b>CITBM</b>	<b>ACTIVIDADES CLAVE</b> El proyecto de investigación trata de la recuperación compuestos del magnesio de las dolomitas cálcicas de los relaves de la concentradora de San Vicente ubicada en la región de Junín.	<b>PROPUESTA de VALOR</b> 1.-Dolomitas Concentradas de los Relaves 2.-Dolomita Calcinada 3.-Acondicionadores de suelos agrícolas 4.-Formulación de Fertilizantes agrícolas 5.-Agentes adsorbentes industriales 6.-Empleo del (Cal/Dol) en los procesos Metalúrgicos. 7.-Insumos para otros procesos industriales.	<b>RELACION CON EL CLIENTE</b> <b>Mercado nacional e internacional.</b>	<b>SEGMENTO DE CLIENTES</b> agricultura, metalurgia, siderúrgica, vidrio, entre otras.
	<b>RECURSOS CLAVE</b> Fondos concursables nacionales e internacionales.		<b>CANALES</b> Diversos medios de distribución de los productos obtenidos.	
<b>ESTRUCTURA de COSTE</b> * Costos a Escala Laboratorio * Costos a Escala pre piloto * Costos a Escala piloto			<b>FUENTES DE INGRESO</b> Rentabilidad sostenible. <span style="float: right;">expectante <small>Activar Word y</small></span>	

Nota. *TECMETS – CALMAG*

Mostramos el Lienzo CANVAS DINAMICO para mostrar los aspectos tecnológicos con la comercialización con los clientes nacionales. Ver Figura 34, 35, 36 y 37.

**Figura 34.**

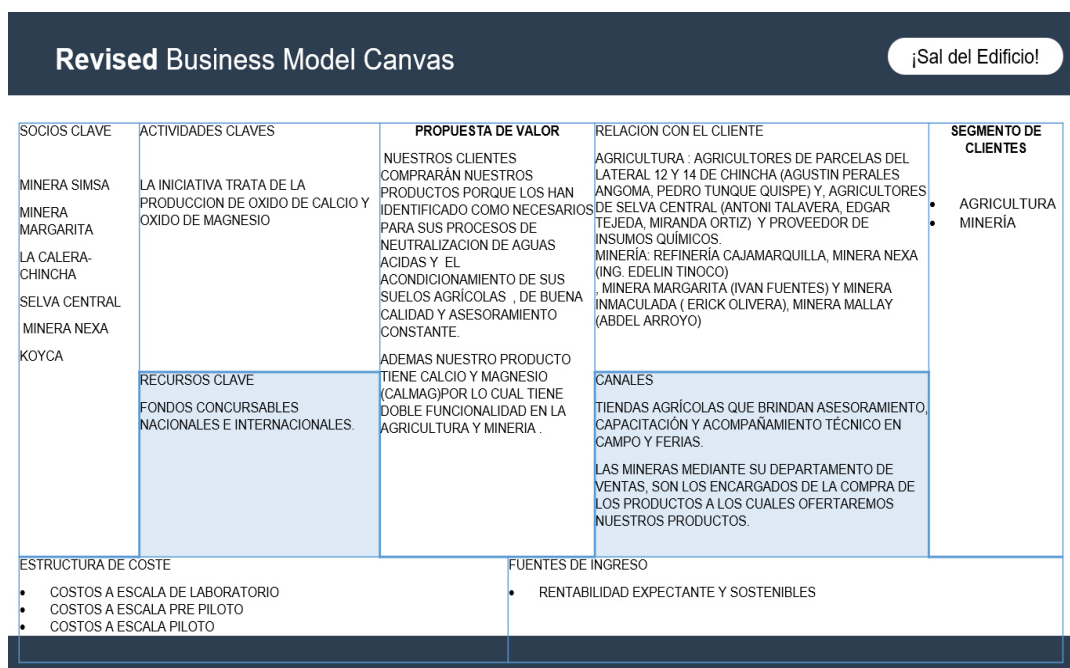
Lienzo de CANVAS DINAMICO I de la propuesta de valor con el segmento del cliente.

Revised Business Model Canvas				
<b>SOCIOS CLAVE</b> MINERA SIMSA MINERA MARGARITA LA CALERA-CHINCHA SELVA CENTRAL MINERA NEXA KOYCA	<b>ACTIVIDADES CLAVES</b> LA INICIATIVA TRATA DE LA PRODUCCION DE OXIDO DE CALCIO Y OXIDO DE MAGNESIO  <b>RECURSOS CLAVE</b> FONDOS CONCURSABLES NACIONALES E INTERNACIONALES.	<b>PROPUESTA DE VALOR</b> NUESTROS CLIENTES COMPRARÁN NUESTROS PRODUCTOS PORQUE LOS HAN IDENTIFICADO COMO NECESARIOS PARA SUS PROCESOS DE NEUTRALIZACION DE AGUAS ACIDAS Y EL ACONDICIONAMIENTO DE SUS SUELOS AGRÍCOLAS , DE BUENA CALIDAD, COSTO Y ASESORAMIENTO CONSTANTE.	<b>RELACION CON EL CLIENTE</b> AGRICULTURA : AGRICULTORES DE PARCELAS DEL LATERAL 12 Y 14 DE CHINCHA (AGUSTIN PERALES ANGOMA, PEDRO TUNQUE QUISPE) Y, AGRICULTORES DE SELVA CENTRAL (ANTONI TALAVERA, EDGAR TEJEDA, MIRANDA ORTIZ) Y PROVEEDOR DE INSUMOS QUÍMICOS. MINERÍA: REFINERÍA CAJAMARQUILLA, MINERA NEXA (ING EDELIN TINOCO) , MINERA MARGARITA (IVAN FUENTES) Y MINERA INMACULADA ( ERICK OLIVERA), MINERA MALLAY (ABDEL ARROYO)  <b>CANALES</b> TIENDAS AGRÍCOLAS QUE BRINDAN ASESORAMIENTO, CAPACITACIÓN Y ACOMPAÑAMIENTO TÉCNICO EN CAMPO Y FERIAS. LAS MINERAS MEDIANTE SU DEPARTAMENTO DE VENTAS, SON LOS ENCARGADOS DE LA COMPRA DE LOS PRODUCTOS A LOS CUALES OFERTAREMOS NUESTROS PRODUCTOS.	<b>SEGMENTO DE CLIENTES</b> • AGRICULTURA • MINERÍA.
<b>ESTRUCTURA DE COSTE</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>COSTOS A ESCALA DE LABORATORIO</li> <li>COSTOS A ESCALA PRE PILOTO</li> <li>COSTOS A ESCALA PILOTO</li> </ul>			<b>FUENTES DE INGRESO</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>RENTABILIDAD EXPECTANTE Y SOSTENIBLES</li> </ul>	

Nota. *TECMETS – CALMAG*

Figura 35.

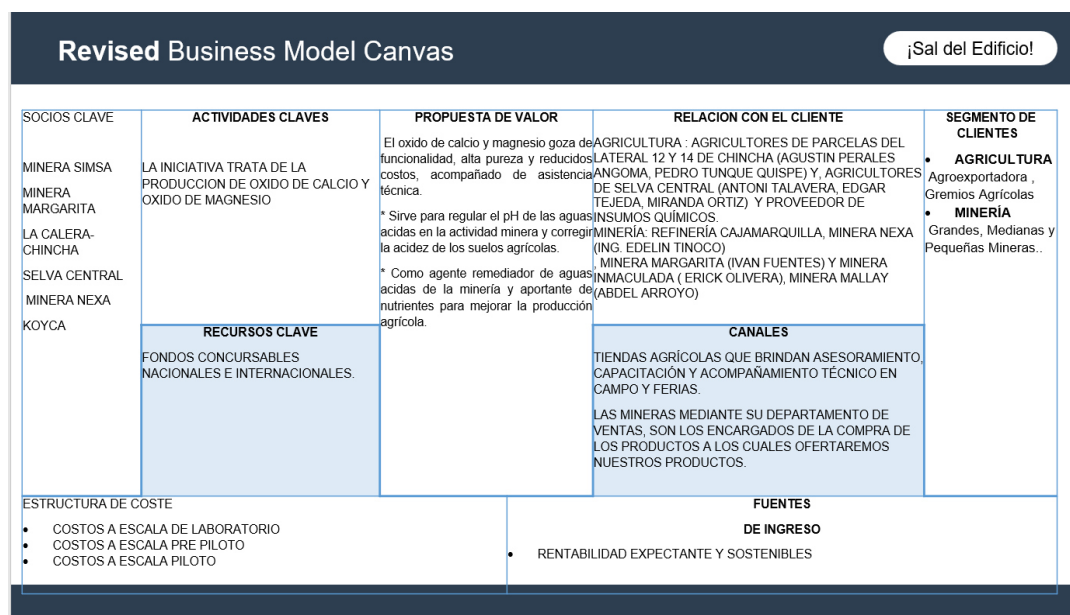
Lienzo de CANVAS DINAMICO II. Mejorando la propuesta de valor con el segmento del cliente.



Nota. *TECMETS – CALMAG*

Figura 36.

Lienzo de CANVAS DINAMICO III. Evolucionando la propuesta de valor y la relación del cliente.



Nota. *TECMETS – CALMAG*

Figura 37.

Lienzo de CANVAS DINAMICO IV Evolucionando la propuesta de valor y la relación del cliente.



Nota.TECMETS – MgNaTecS

## 4.3 Pruebas de Hipótesis

### 4.3.1 Caracterización de la muestra

La Prueba de Hipótesis N°1 de la caracterización de los recursos no metálicos aplicando técnicas mineralógicas, químicas, físicas, en el Modelo MgNaTecS nos muestran las correlaciones entre las variables intervinientes son buenas. Ver Numero adimensional ( $DL_1$ ), Cuadro 9 y 10, así como también Figuras 38 y 39.

#### Nro. Adimensional ( $DL$ )<sub>1</sub> de Caracterización:

Análisis Mineralógico	Análisis Microscópico Electrónico
↓	↓
$(DL)_1 = \left( \frac{(\%CaCO_3 * MgCO_3)}{(\%MgO)(\%CaO)(\%ZnO)} \right) * \left( \frac{Tamaño}{Rayos X} \right)^2 \quad (1.0)$	
↑	↑
Análisis Químico	Análisis Físico

**Cuadro 9.**

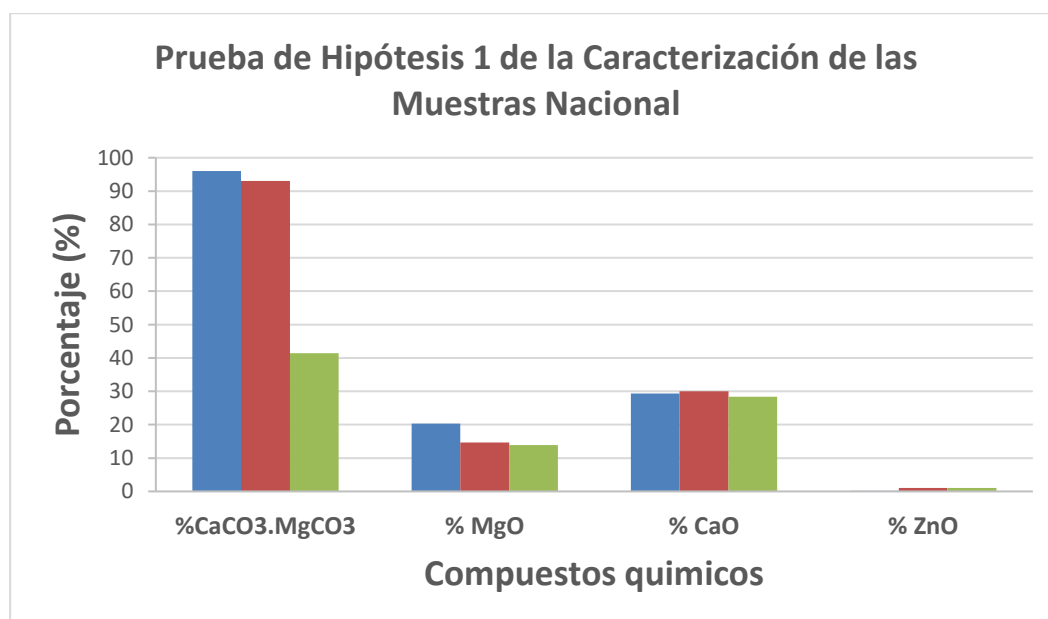
Cuantificación del Número Adimensional de Caracterización (DL1)

<b>Variables</b>	<b>Muestra A1</b>	<b>Muestra A2</b>	<b>Muestra A3 con Impurezas</b>
$\%CaCO_3 * MgCO_3$	96	93	41.40
$\%MgO$	20.28	14.64	13.91
$\%CaO$	29.34	29.98	28.40
$\%ZnO$	0.2	1.06	1.0
<b>Tamaño de Muestra (<math>\mu\text{mg}</math>)</b>	$3.25 \times 10^5$	$3.25 \times 10^5$	$3.25 \times 10^5$
<b>Longitud de Onda (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	$36 \times 10^{-7}$	$36 \times 10^{-7}$	$36 \times 10^{-7}$
<b>Número Adimensional (DL1)</b>	<b>6.57468E+17</b>	<b>1.62917E+17</b>	<b>8.54E+20</b>

<b>Estadísticos</b>			<b>Promedio</b>
<b>% Error</b>	3.7036	19.2887	8.4521
<b>Desviación Estándar</b>	29.4687	20.2712	24.4411
<b>Coefficiente de Correlación</b>	0.9973	0.9218	0.9588

**Figura 38.**

Prueba de Hipótesis 1 de la Caracterización de las Muestras Nacional.



**Cuadro 10.**

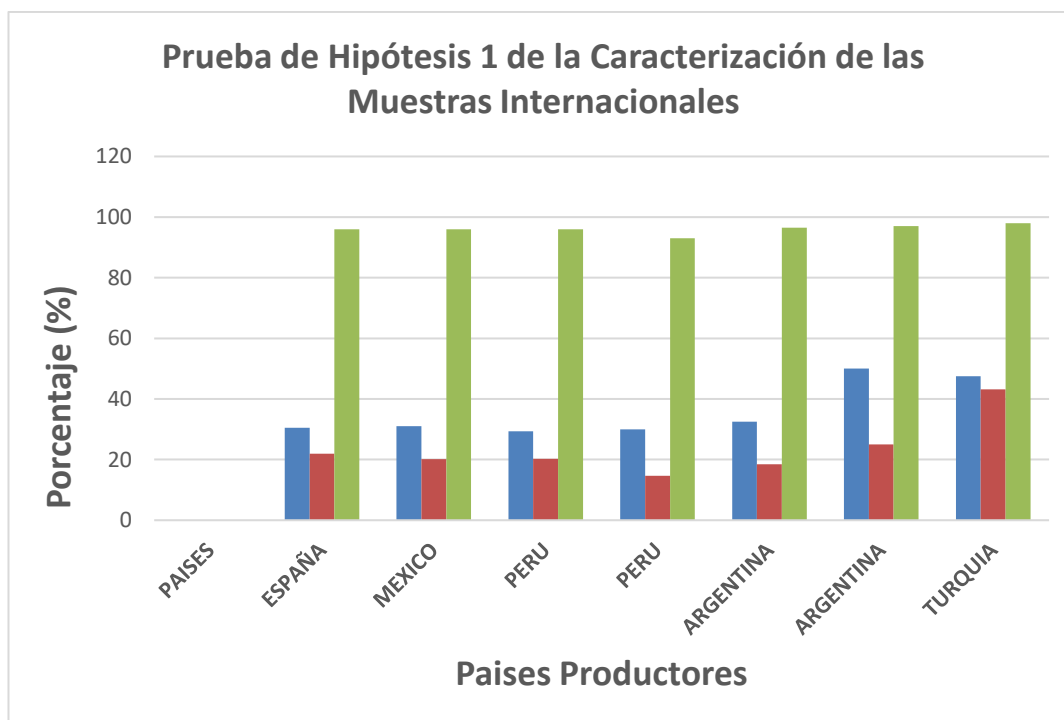
Cuantificación de las Muestras Internacionales de Dolomitas

PAÍSES	% CaO	% MgO	CaMg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
ESPAÑA	30.55	21.90	96.00
MÉXICO	31.00	20.20	96.00
PERÚ	29.34	20.28	96.00
PERÚ	29.98	14.64	93.00
ARGENTINA	32.50	18.50	96.50
ARGENTINA	50.00	25.00	97.00
TURQUÍA	47.46	43.20	98.00

Estadísticos			Promedio
% Error	6.6106	6.6334	6.6219
Desviación Estándar	8.2021	36.341	17.2649
Coefficiente de Correlación	0.7346	0.7582	0.7463

**Figura 39.**

Prueba de Hipótesis 1 de la Caracterización de las Muestras Internacionales





### 4.3.2 Desarrollo de Procesos Pirometalúrgicos

La Prueba de Hipótesis N°2 del Desarrollo de Procesos Pirometalúrgicos empleados en el Modelo MgNaTecS nos muestran buenas correlaciones entre las variables intervinientes. Ver Cuadro 11 y 12, así como también Figura 40.

#### Numero adimensional ( $DL_2$ )

$$(DL)_2 = \frac{[W_{aleación}] * [f_{gas}]^{1/3}}{[Pot] * [t]^{2/3} * [\%Mg] * \left[ \frac{T - T_{oo}}{T_o - T_{oo}} \right] * [\%Zn]} \quad (2.0)$$

#### Cuadro 11.

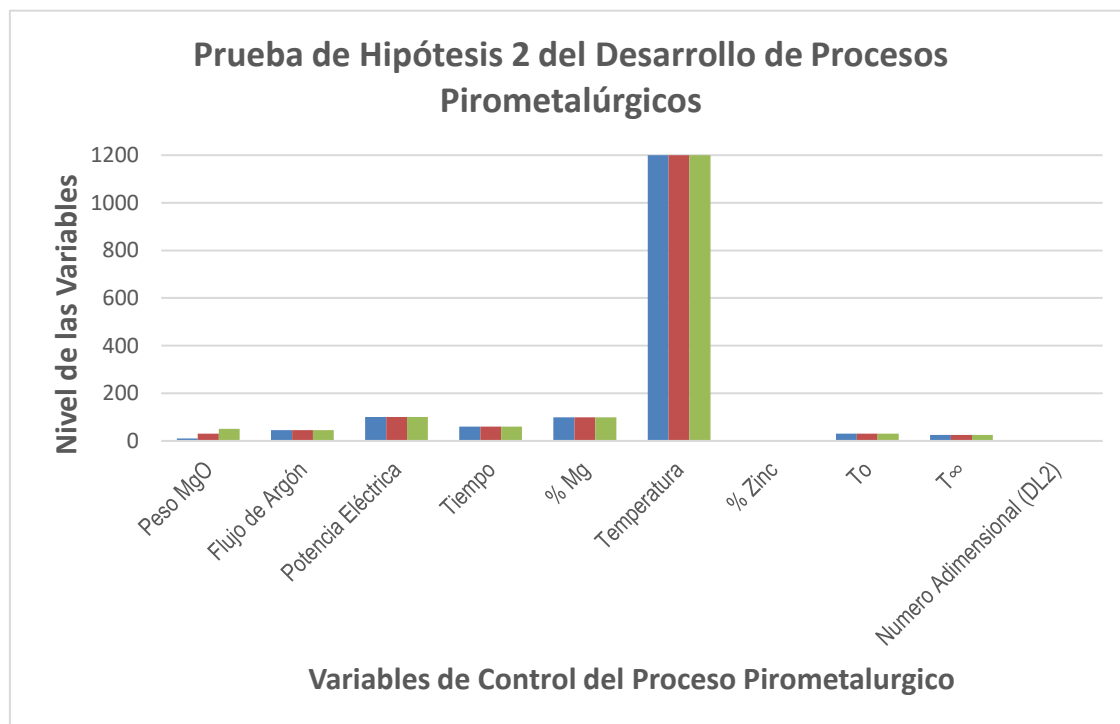
Cuantificación del Número Adimensional de Procesos ( $DL_2$ )

Variables	Muestra A1	Muestra A2	Muestra A3
Peso MgO (g)	10	30	50
Flujo de Argón (cm <sup>3</sup> /min)	45	45	45
Potencia Eléctrica (KWh)	100	100	100
Tiempo (min)	60	60	60
% Mg	99	99	99
Temperatura (°K)	1200	1200	1200
% Zinc	1	1	1
T <sub>o</sub> (°K)	30	30	30
T <sub>∞</sub> (°K)	25	25	25
Número Adimensional ( $DL_2$ )	1.27E-08	3.82E-08	6.37E-08

Estadísticos			Promedio
% Error	6.6569	6.6701	6.6635
Desviación Estándar	208.4	208	208.1999
Coefficiente de Correlación	0.9998	0.9998	0.9998

**Figura 40.**

Prueba de Hipótesis 2 del desarrollo de los Procesos Pirometalúrgicos

**Cuadro 12.**

Cuantificación de los Datos Cinéticos de la Reducción Silicotérmica del Magnesio

T (° C)	% Error	Coefficiente Correlación	Desviación
1200	0.0157	0.9992	0.2679
1000	0.0068	0.9998	0.2619
800	0.0057	0.9998	0.2026
600	0.0125	0.9981	0.1260
400	0.0087	0.9970	0.0695
<b>Global</b>	<b>0.0099</b>	<b>0.9988</b>	<b>0.1856</b>

### 4.3.3 Contribución Tecnológica y Comercial

La Prueba de Hipótesis N°3 de la contribución Tecnológica y Comercial empleados en el Modelo MgNaTecS nos muestran buenas correlaciones entre las variables intervinientes. Ver Numero adimensional ( $DL_3$ ), Cuadro 13 y, así como también Figura N°41.

#### Nro. Adimensional de Tecnología ( $DL_3$ ):

$$DL_3 = \frac{W_{Aleación\ MgAlZn} * \left[ \frac{Dureza}{Area} \right] * [Modulo\ de\ Young] * \%Mg}{[Resistencia\ Tracción^2] * \left[ \frac{T-T_{00}}{T_0-T_{00}} \right]} \quad (3.0)$$

#### Cuadro 13.

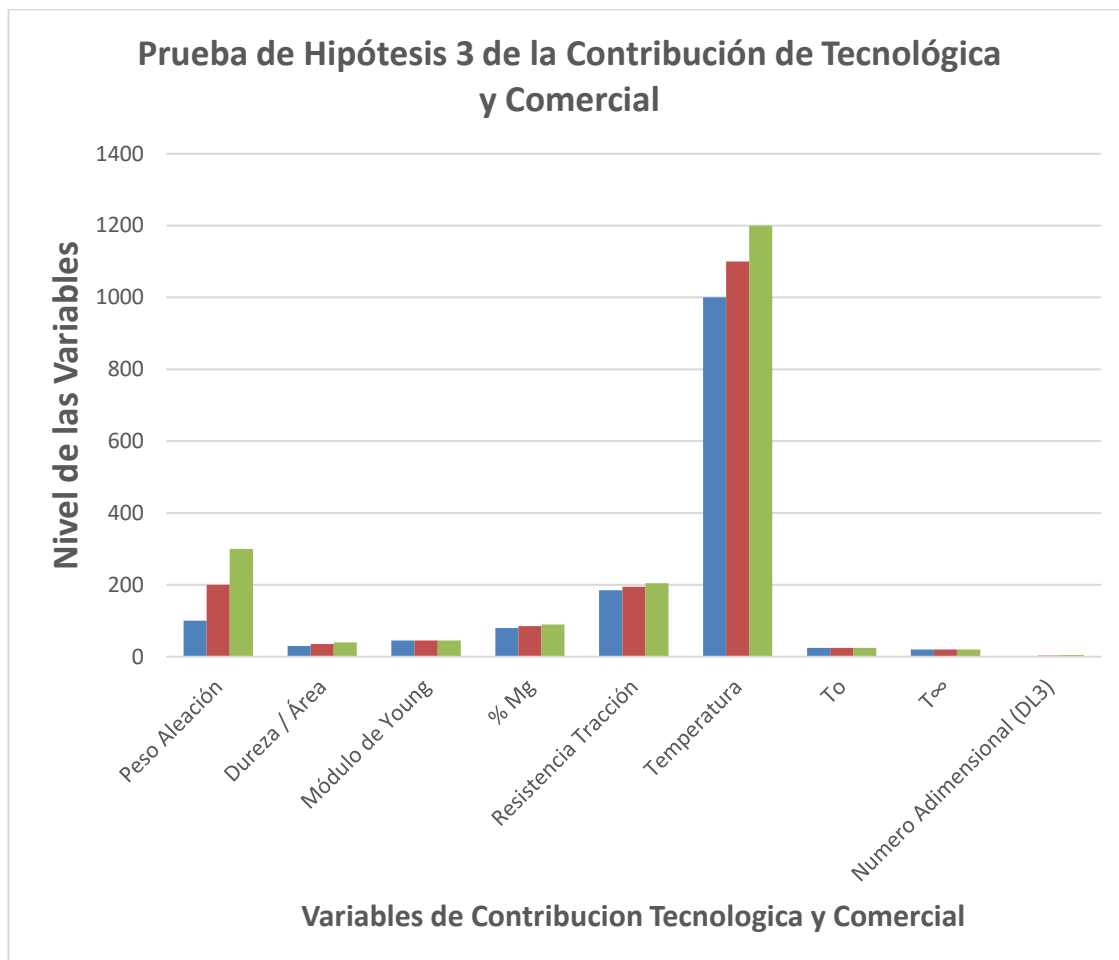
Cuantificación del Número Adimensional de Procesos Tecnológicos ( $DL_3$ )

Variables	Muestra A1	Muestra A2	Muestra A3
Peso Aleación (g)	100	200	300
Dureza / Área (MPa / cm <sup>2</sup> )	30	35	40
Módulo de Young (GPa)	45.109	45.109	45.109
% Mg	80	85	90
Resistencia Tracción (MPa)	185	195	205
Temperatura (°K)	1000	1100	1200
T <sub>0</sub> (°K)	25	25	25
T <sub>∞</sub> (°K)	20	20	20
Número Adimensional ( $DL_3$ )	1.6138	3.2678	4.9121

Estadísticos	Promedio		
% Error	29.9983	27.3777	28.6580
Desviación Estándar	199.1635	221.8296	210.1913
Coefficiente de Correlación	0.9960	0.9973	0.9967

**Figura 41.**

Prueba de Hipótesis 3 de la Contribución de Tecnológica y Comercial

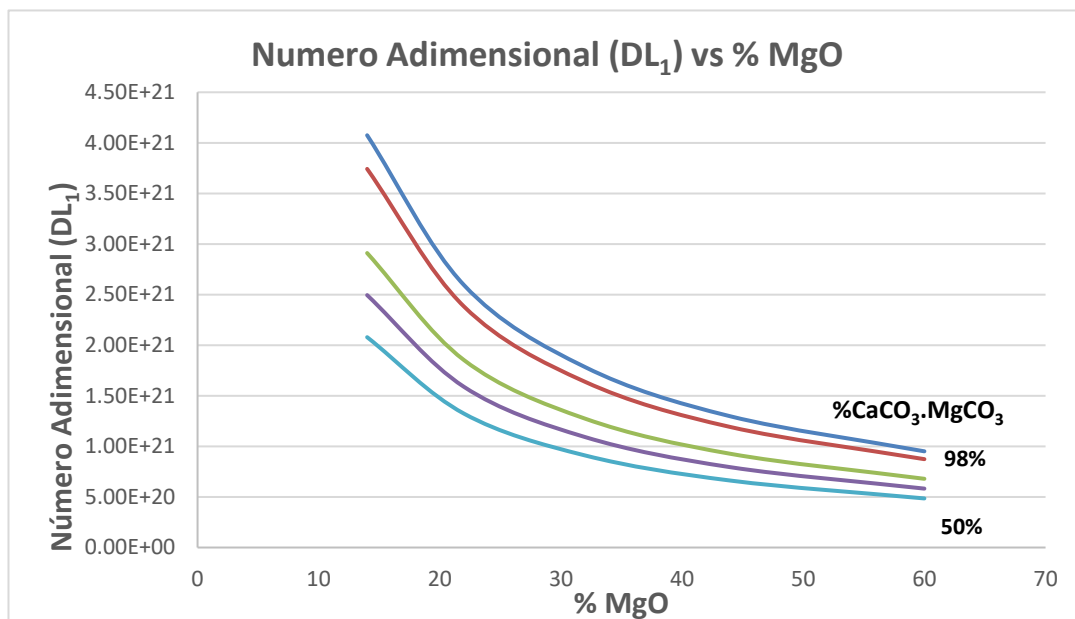
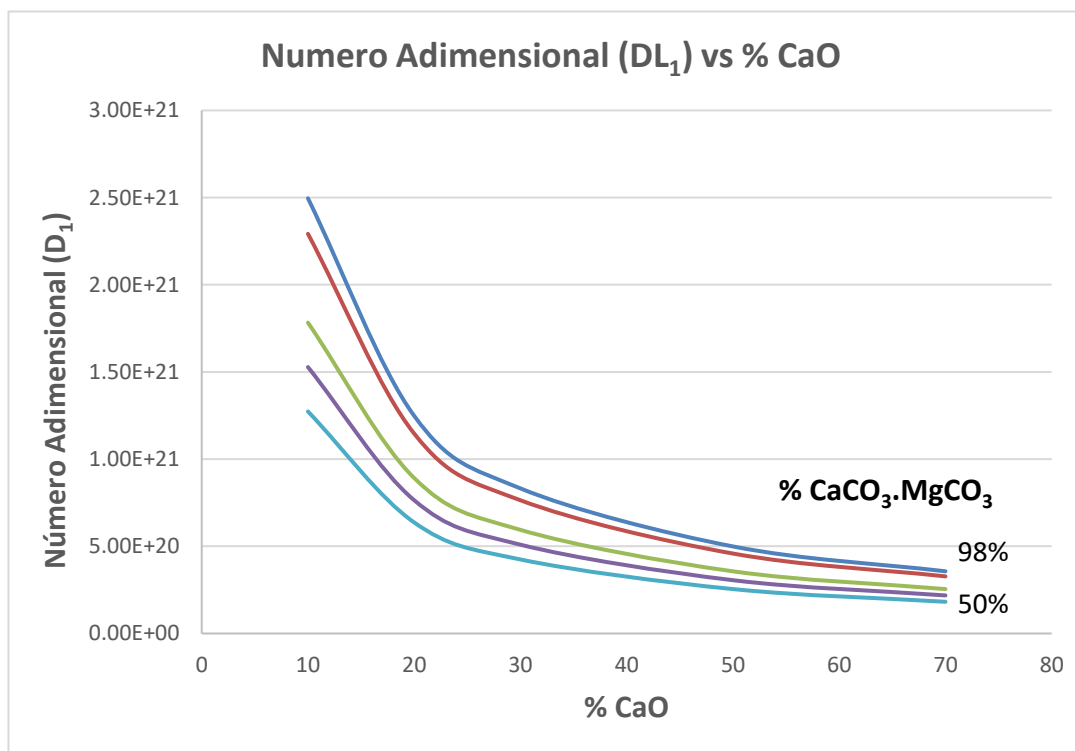


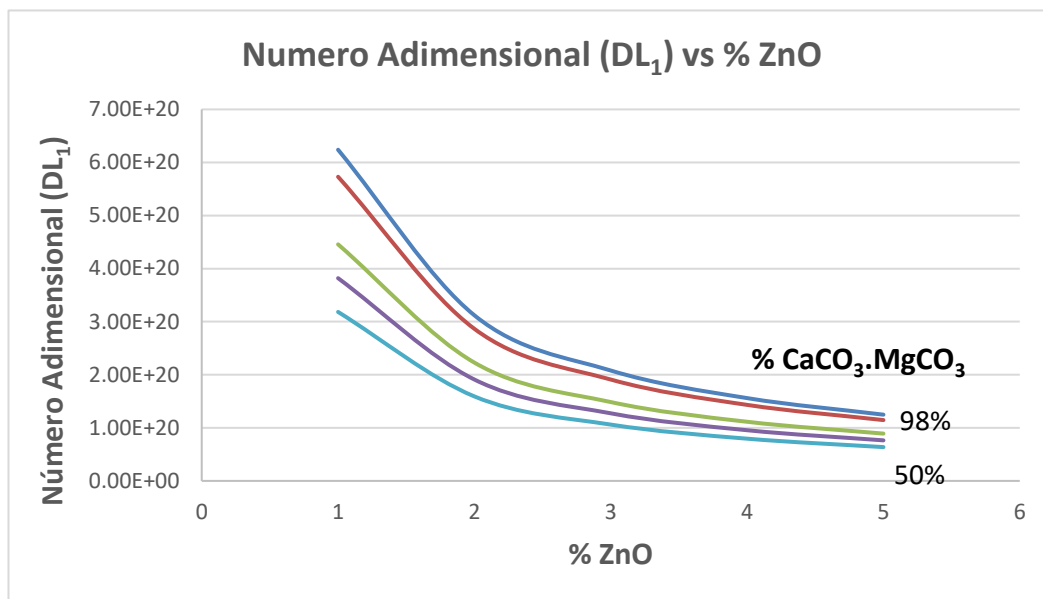
#### 4.4 Presentación de resultados

Los resultados experimentales son modelados con herramientas termodinámicas, cinéticas y fenómenos de transporte a los procesos y variables involucradas en la obtención del Magnesio, productos y aleaciones.

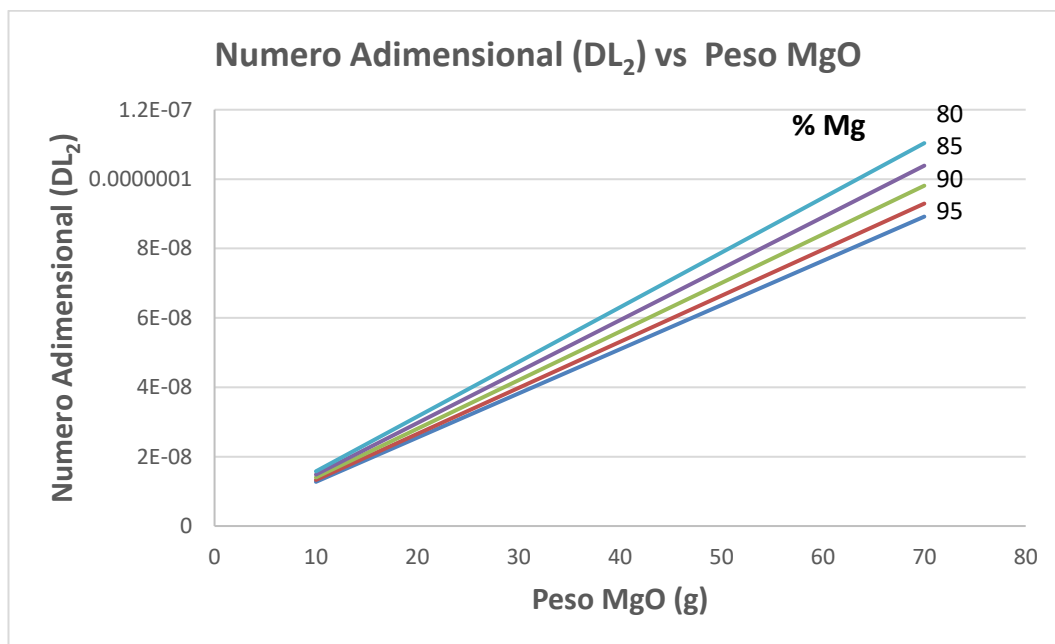
##### 4.4.1 Caracterización de la muestra

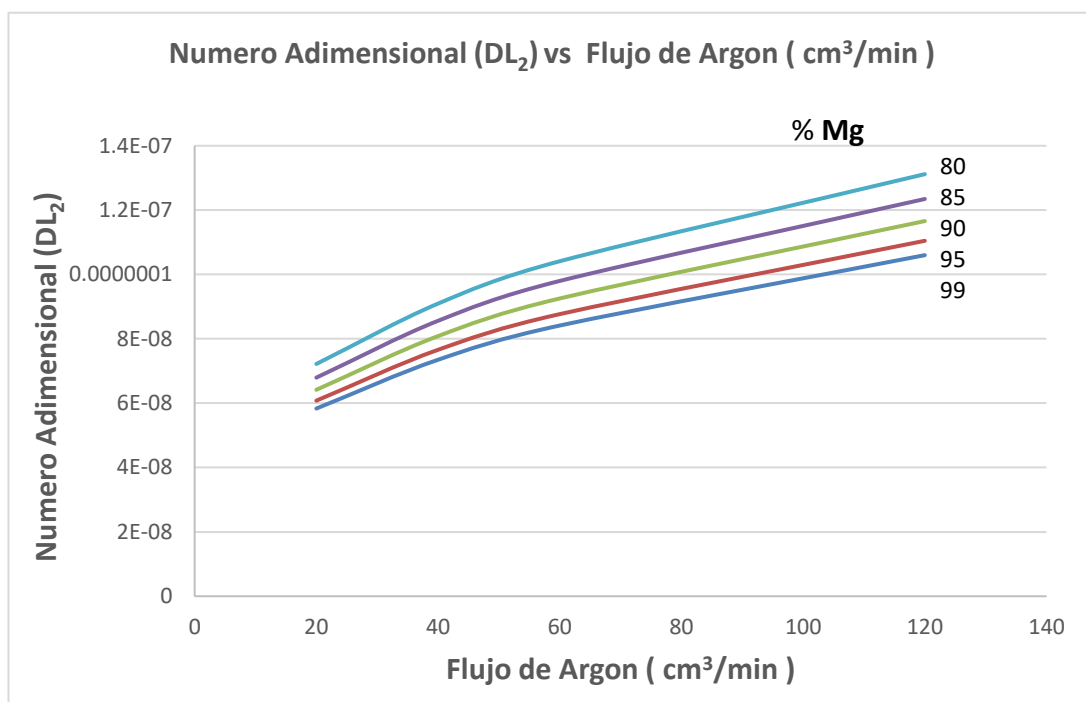
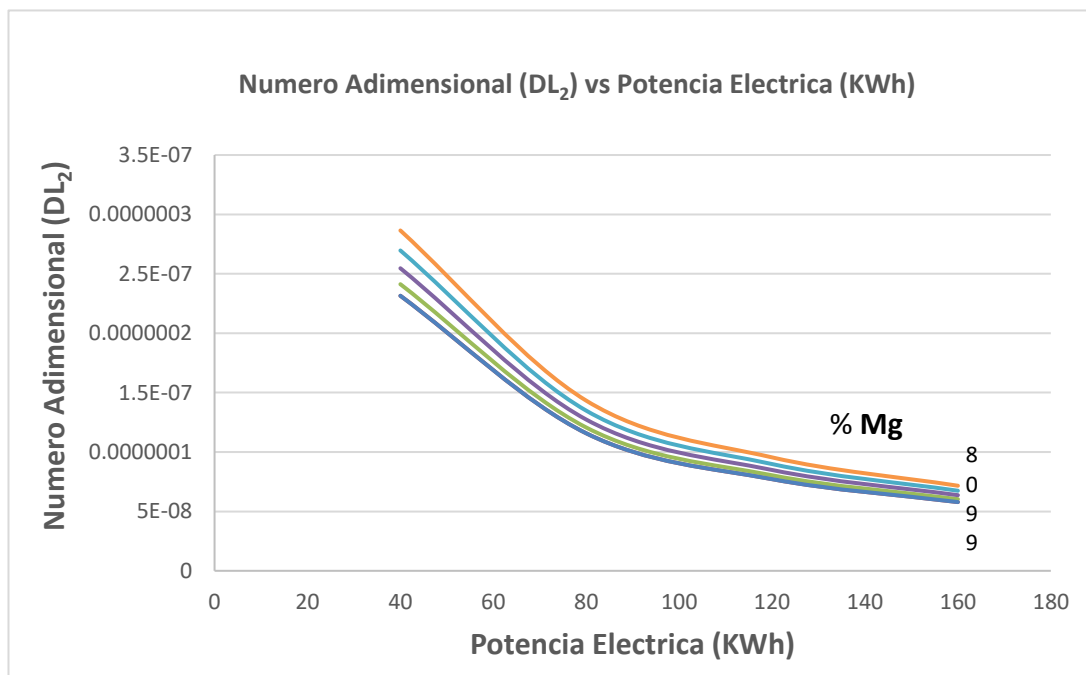
Las materias primas de calizas dolomíticas de los relaves (Pasivos ambientales) empleadas en la investigación son caracterizados y sus variables son modeladas con el numero adimensional DL<sub>1</sub>. Ver Figuras 42, 43 y 44.

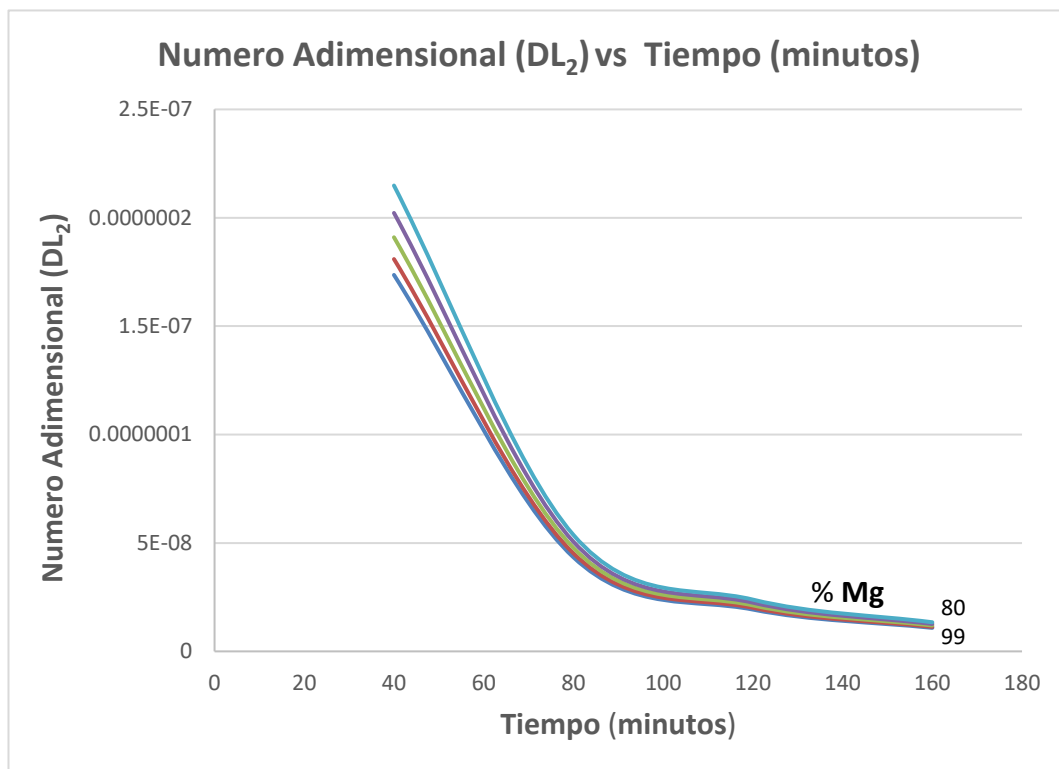
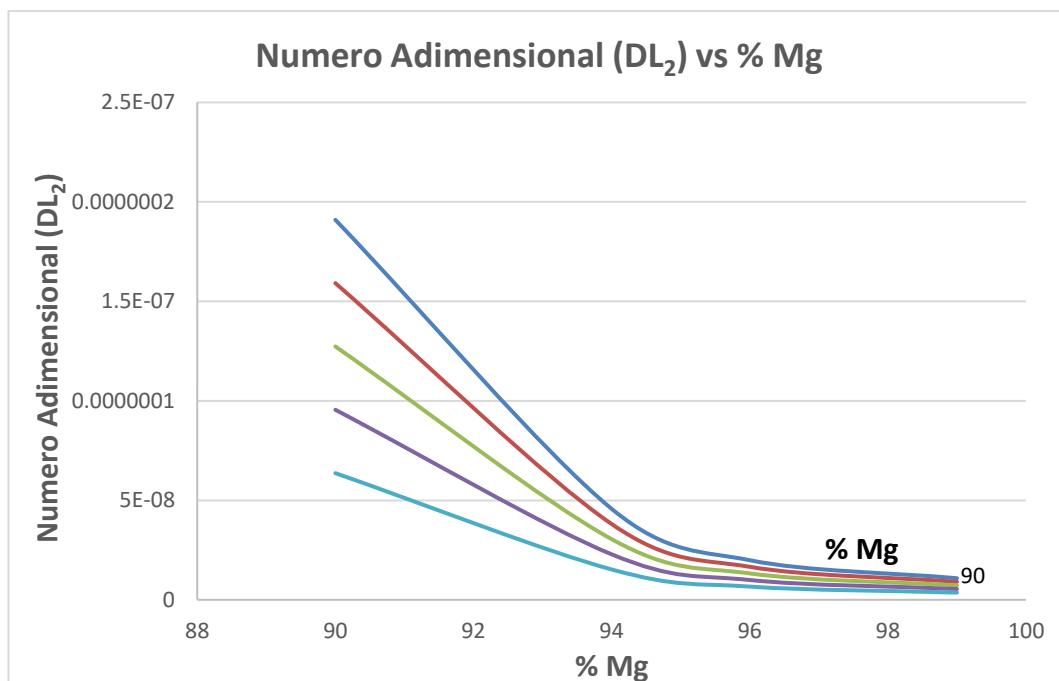
**Figura 42.**Numero Adimensional ( $DL_1$ ) vs % MgO**Figura 43.**Numero Adimensional ( $DL_1$ ) vs % CaO

**Figura 44.**Numero Adimensional ( $DL_1$ ) vs % ZnO**4.4.2 Desarrollo de Procesos Pirometalúrgicos**

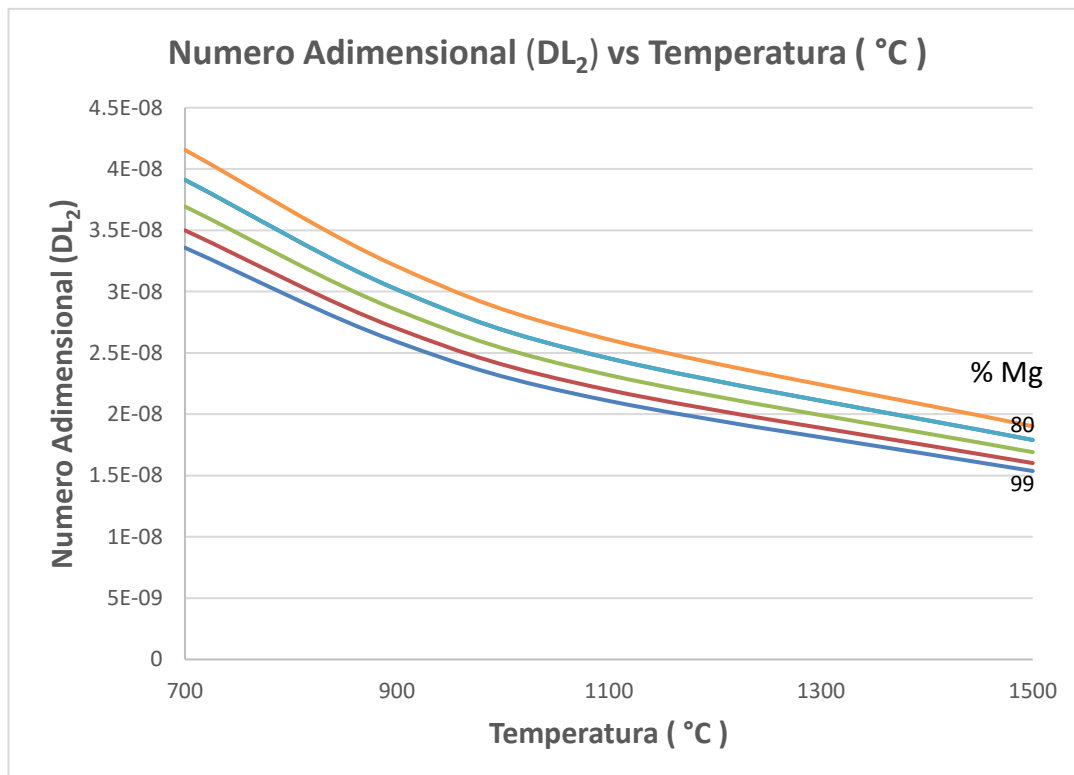
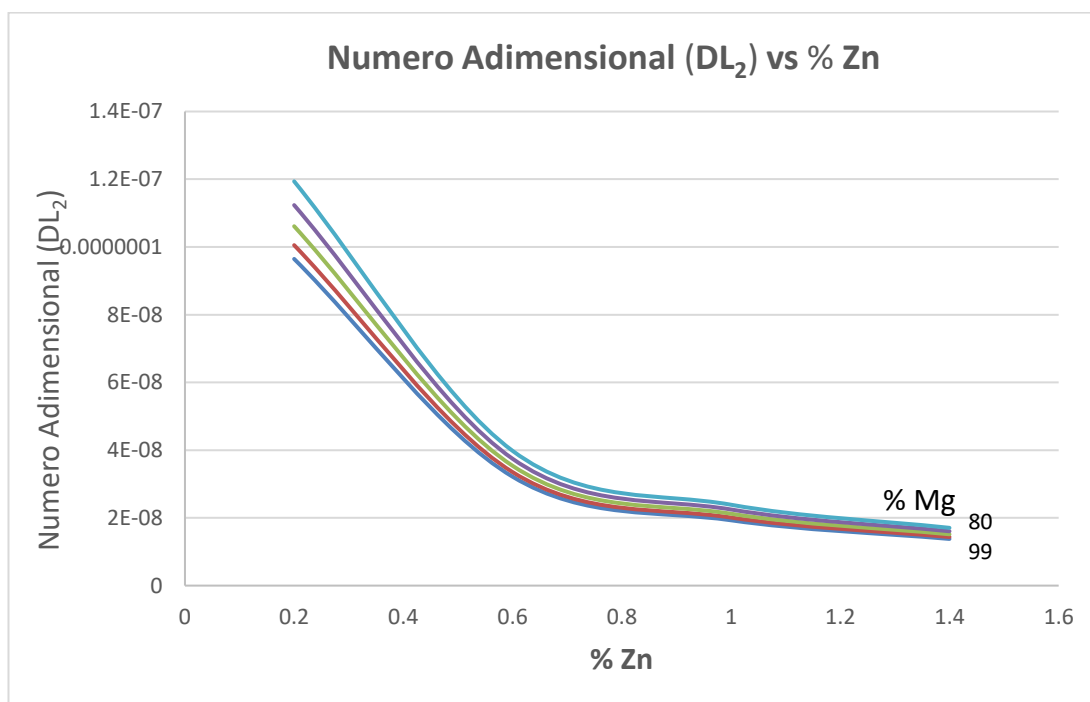
Las materias primas y otros reactantes son alimentados a los procesos pirometalúrgicos cuyas variables y parámetros son modeladas con el numero adimensional  $DL_2$ . Ver Figuras 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52 y 53.

**Figura 45.**Numero Adimensional ( $DL_2$ ) vs Peso MgO

**Figura 46.**Numero Adimensional ( $DL_2$ ) vs Flujo de Argón ( $\text{cm}^3/\text{min}$ )**Figura 47.**Numero Adimensional ( $DL_2$ ) vs Potencia Eléctrica (KWh)

**Figura 48.**Numero Adimensional ( $DL_2$ ) vs Tiempo (minutos)**Figura 49.**Numero Adimensional ( $DL_2$ ) vs %Mg



**Figura 50.**Numero Adimensional ( $DL_2$ ) vs Temperatura ( $^{\circ}C$ )**Figura 51.**Numero Adimensional ( $DL_2$ ) vs % Zn

**Figura 52.**

Diagrama de Flujo del Proceso de Calcinación

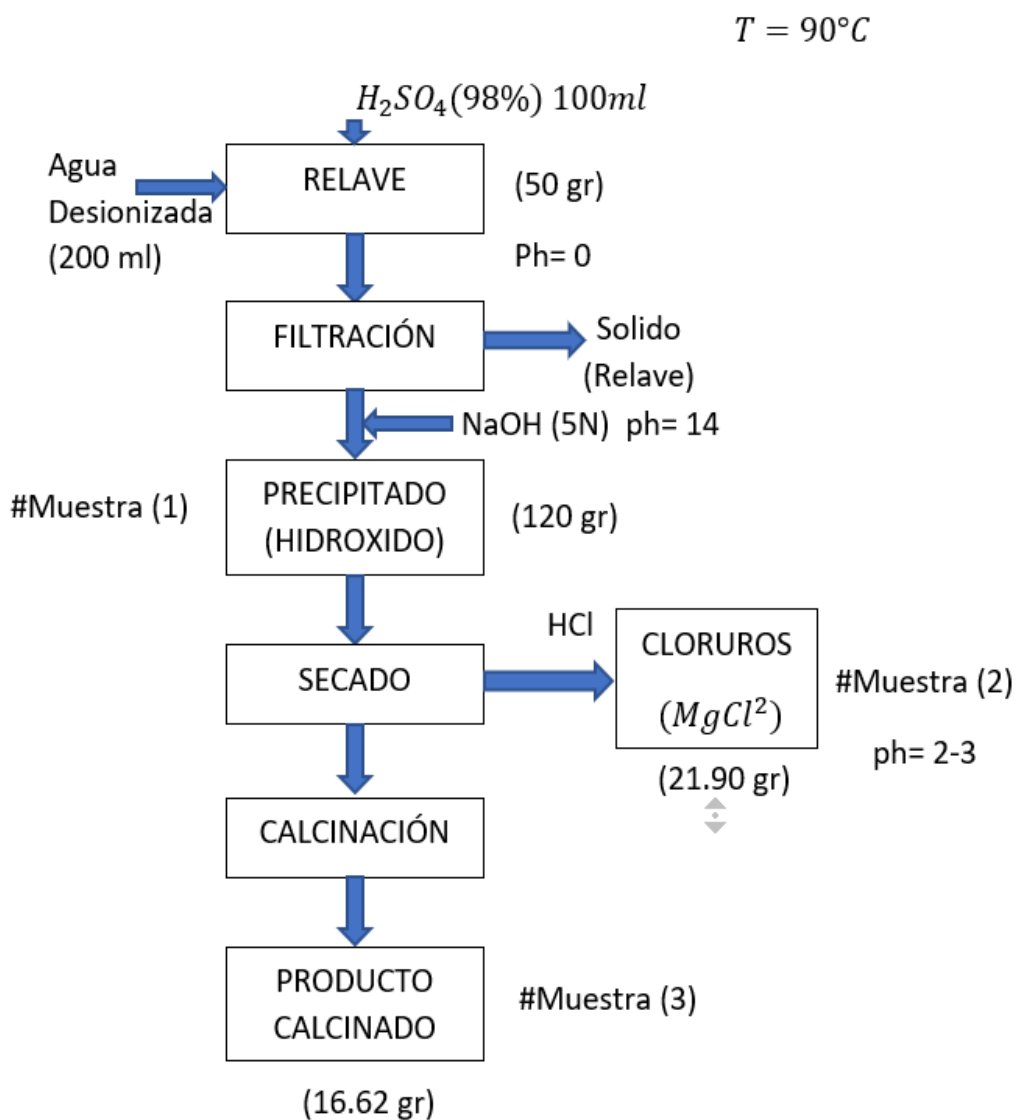
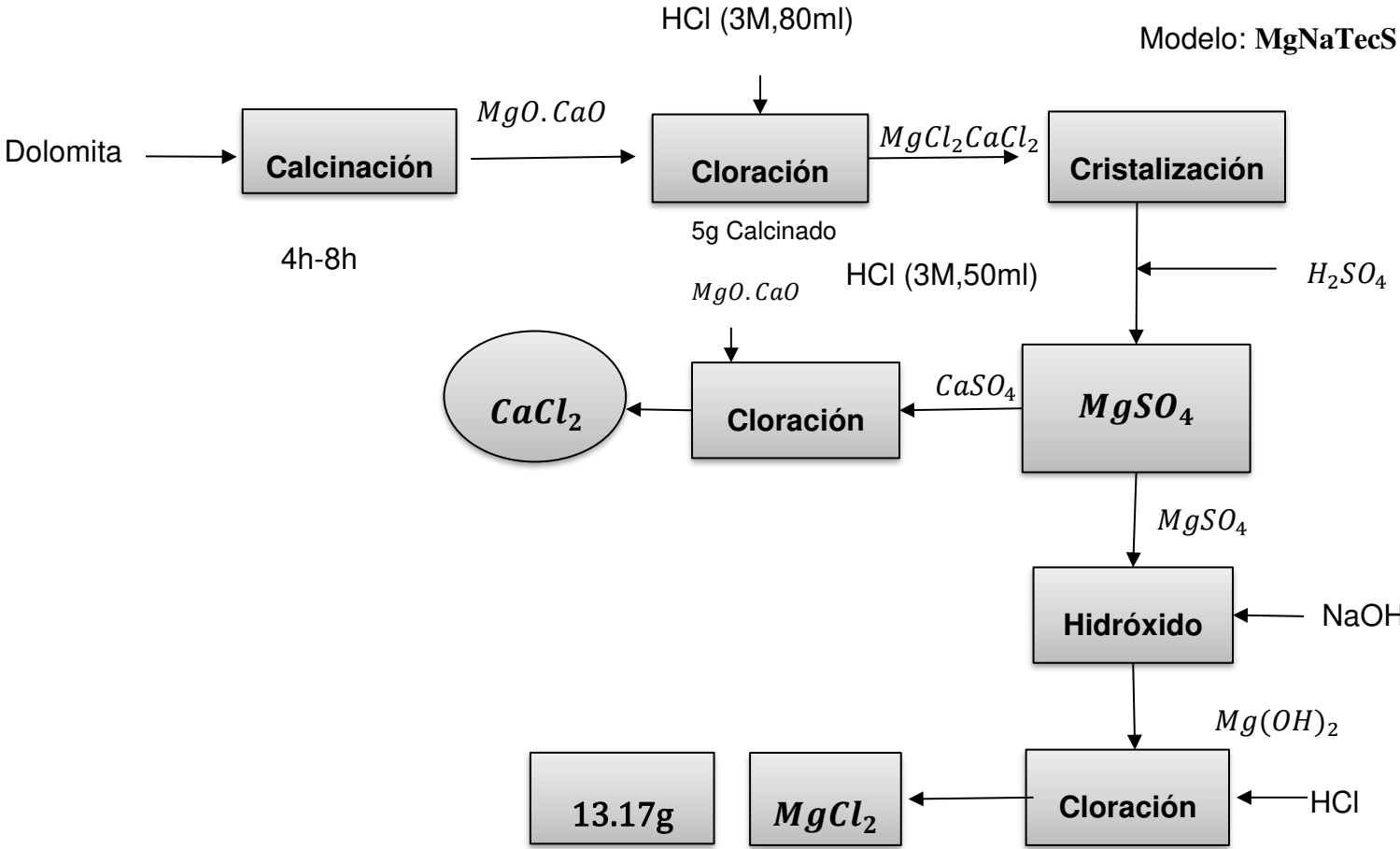


Figura 53.

Diagrama de Flujo del Proceso de la Obtención de Sales de Calcio y Magnesio

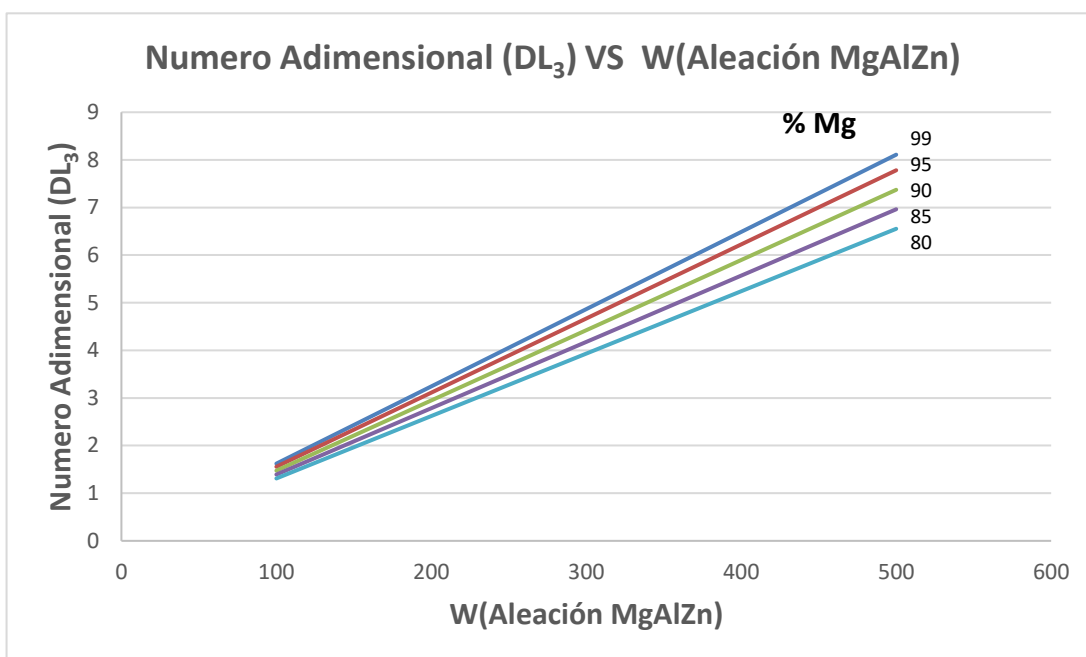


#### 4.4.3 Desarrollo de la Contribución Tecnológica y Comercial

Los productos, metal y aleaciones de magnesio modelan sus variables tecnológicas y comerciales con el número adimensional  $DL_3$ . Ver el Cuadro 14 y las Figuras 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64 y 65.

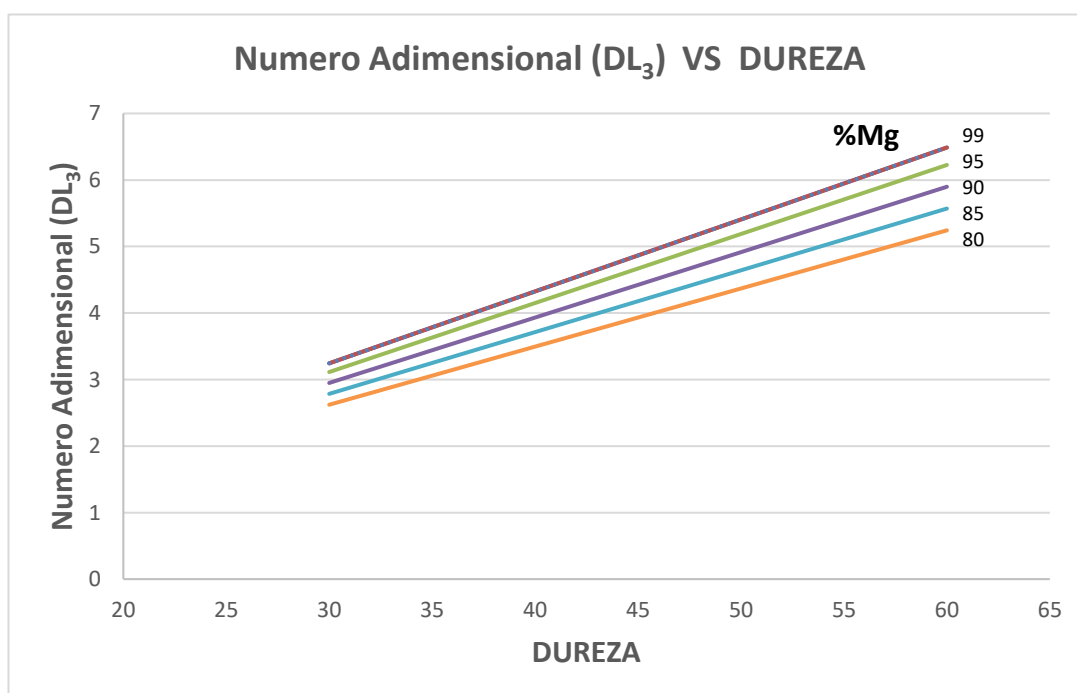
**Figura 54.**

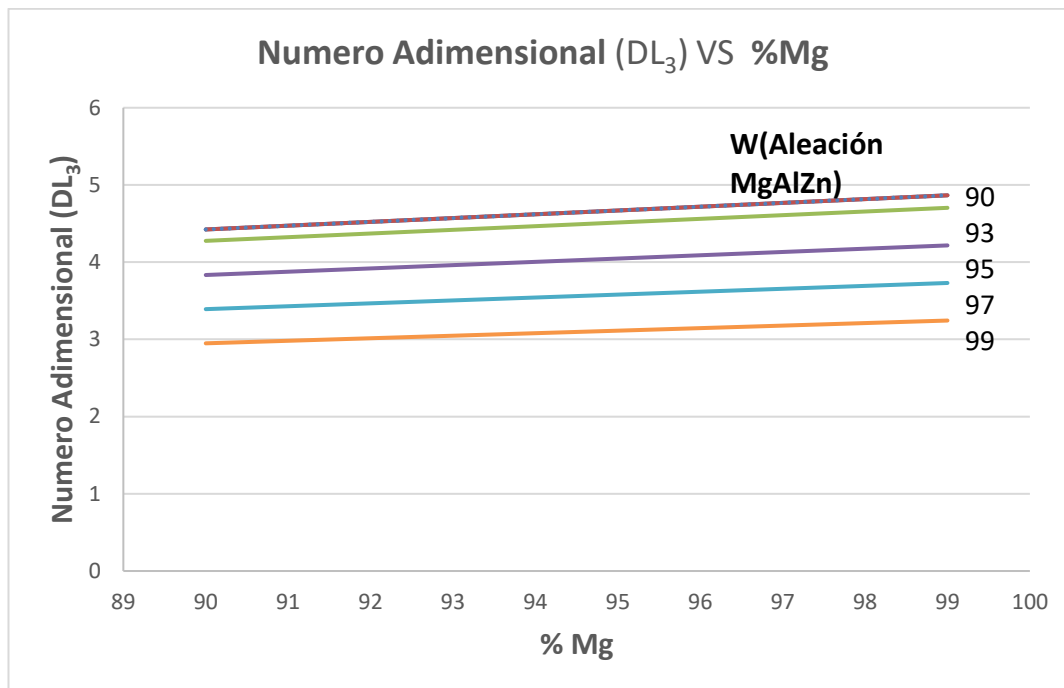
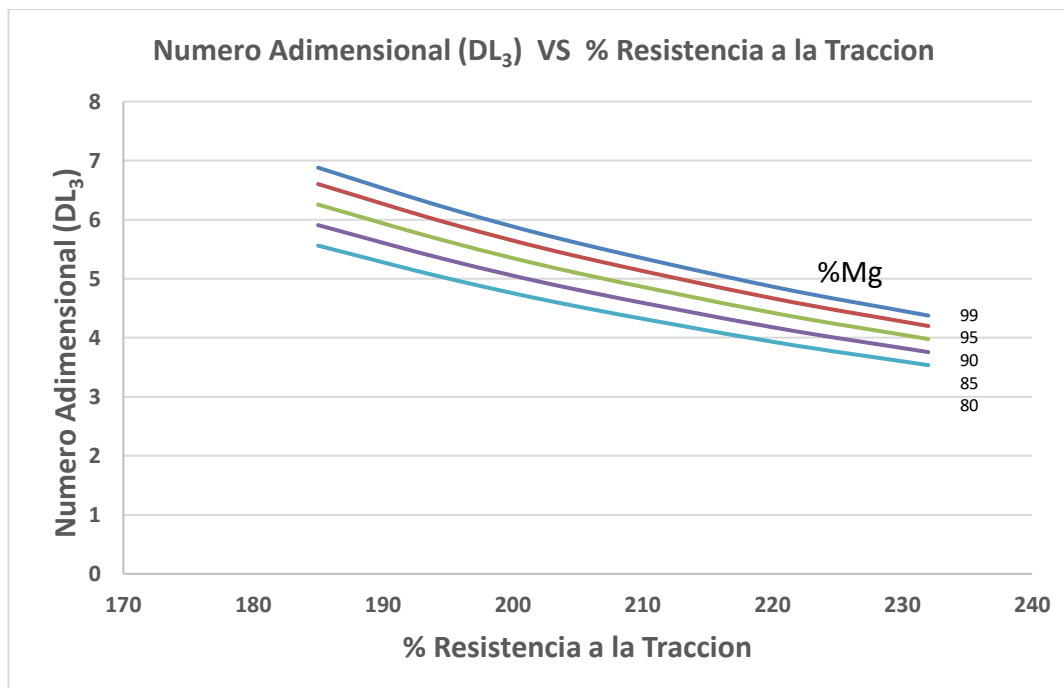
Numero Adimensional ( $DL_3$ ) vs W(Aleación MgAlZn)

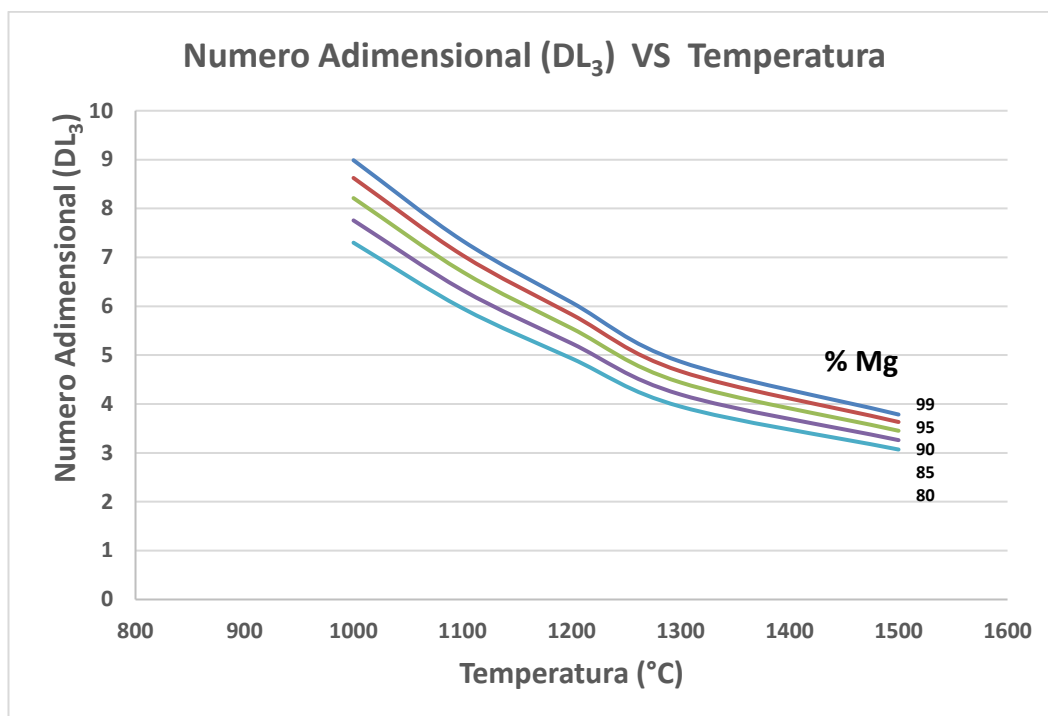


**Figura 55.**

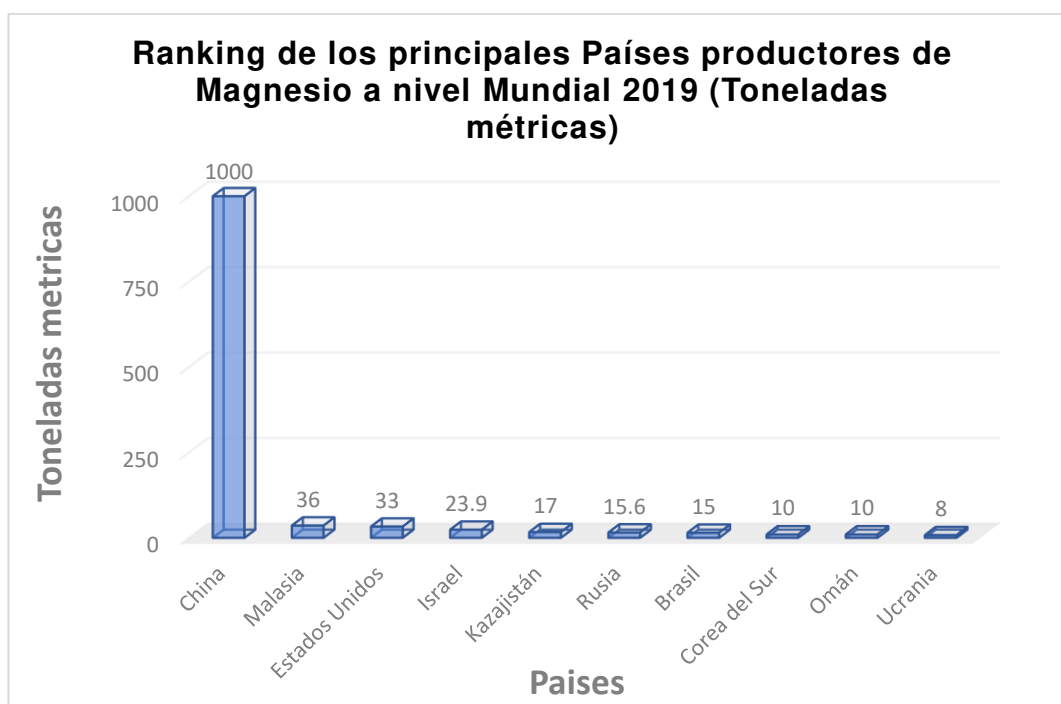
Numero Adimensional ( $DL_3$ ) vs DUREZA



**Figura 56.**Numero Adimensional ( $DL_3$ ) vs %Mg**Figura 57.**Numero Adimensional ( $DL_3$ ) vs %Resistencia a la Tracción

**Figura 58.**Numero Adimensional (DL<sub>3</sub>) vs Temperatura**Figura 59.**

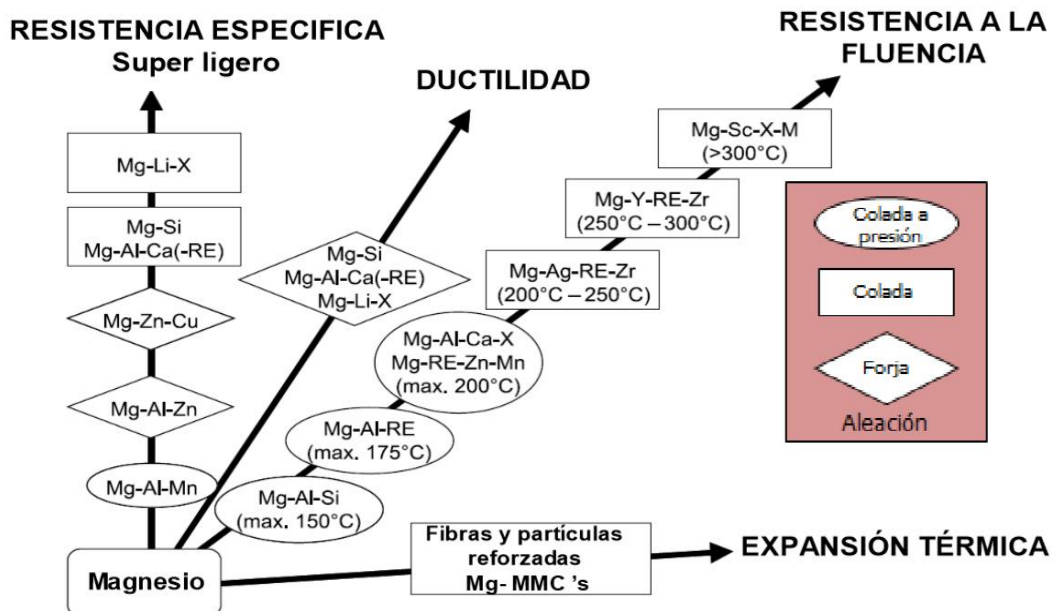
Ranking de los Países productores de Magnesio a nivel Mundial.



Nota. Karin María Paucar Cuba - Madrid, 2013

Figura 60.

Magnesio y sus Aleaciones

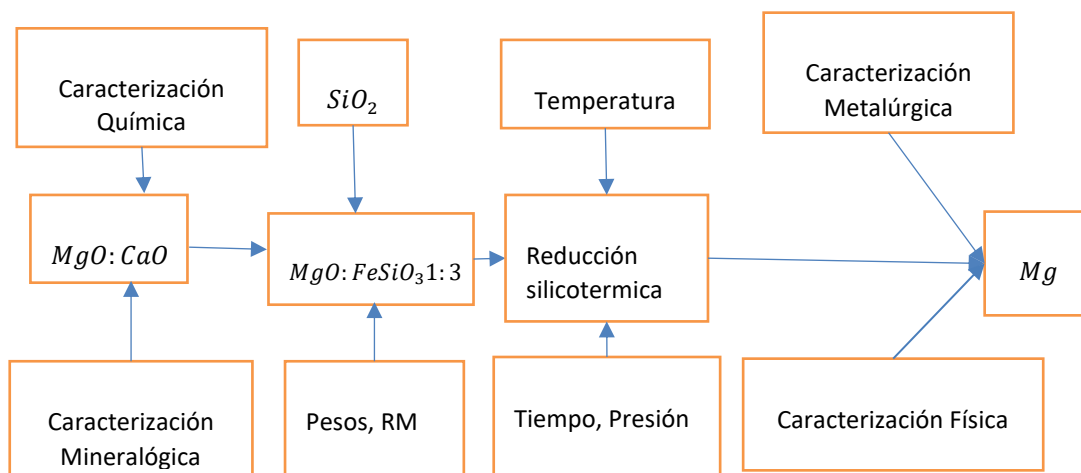


Nota. Karin María Paucar Cuba - Madrid, 2013

Figura 61.

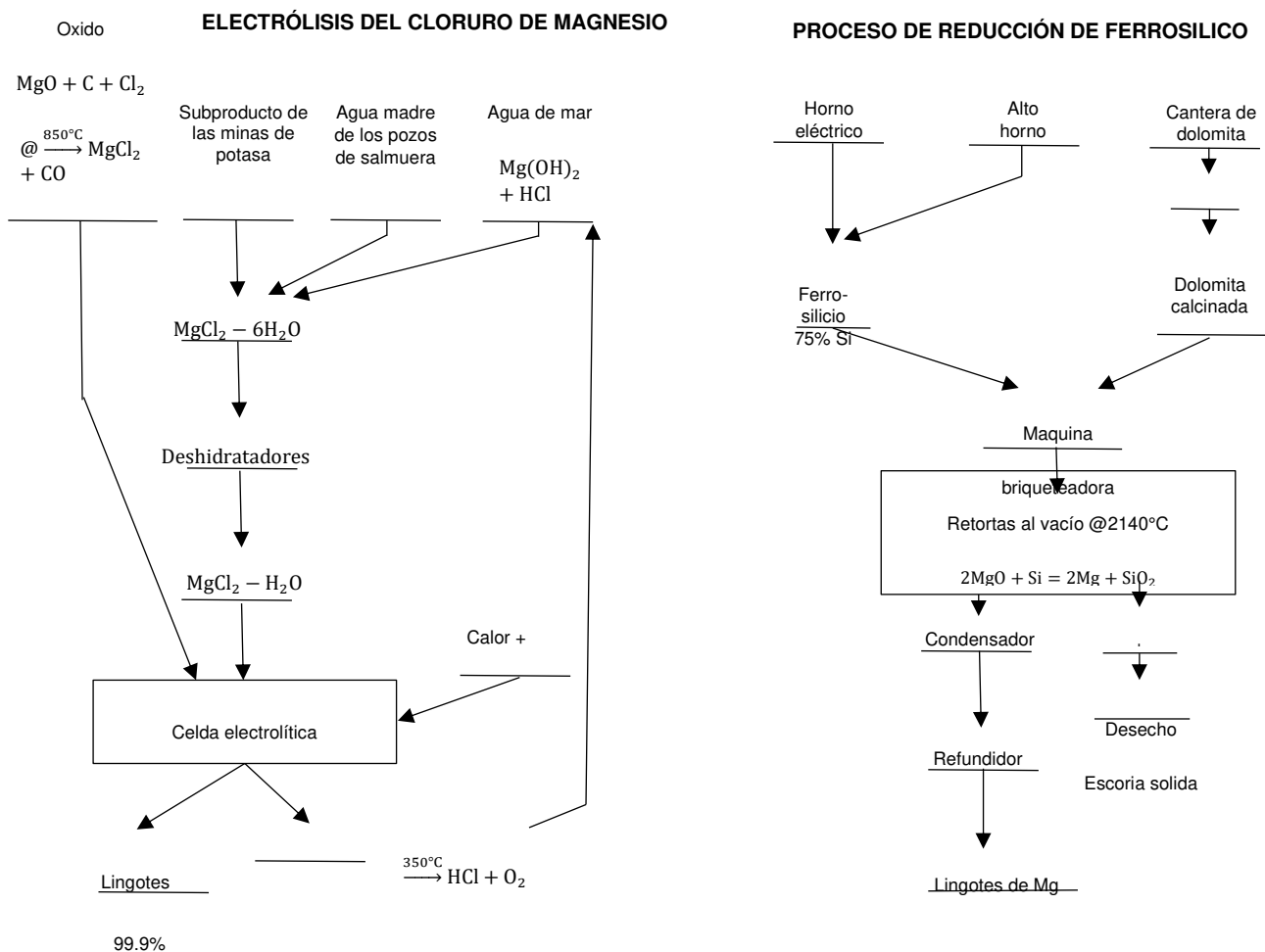
Diagrama de Flujo de la Obtención del Magnesio I.

## Diagrama del Proceso Silicotermico del Magnesio



**Figura 62.**

Diagrama de Flujo de la Obtención del Magnesio II.



Nota. (Austin, 1989)

**Figura 63.**

Cambios Estructurales en el Relave durante la Calcinación.

Relave dolomítico





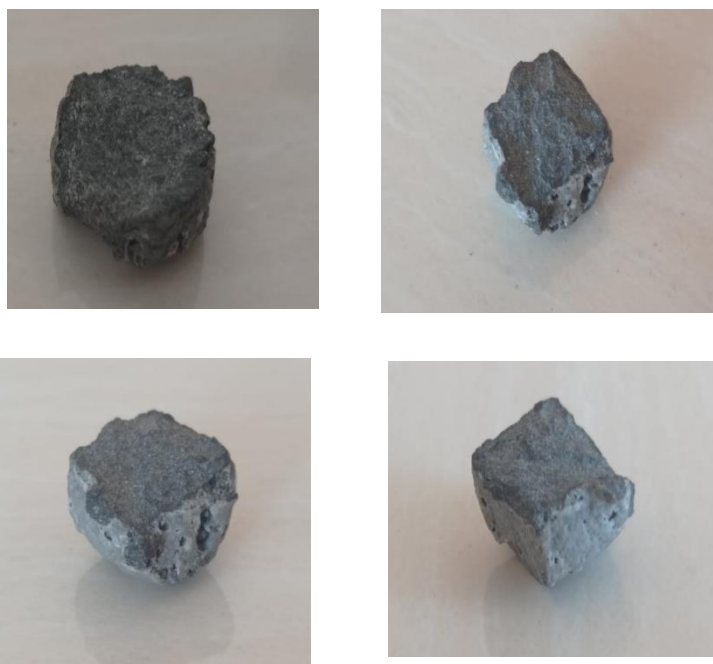
Relave Calentamiento 10 min



*Nota. Tomado con microscopio digital.*

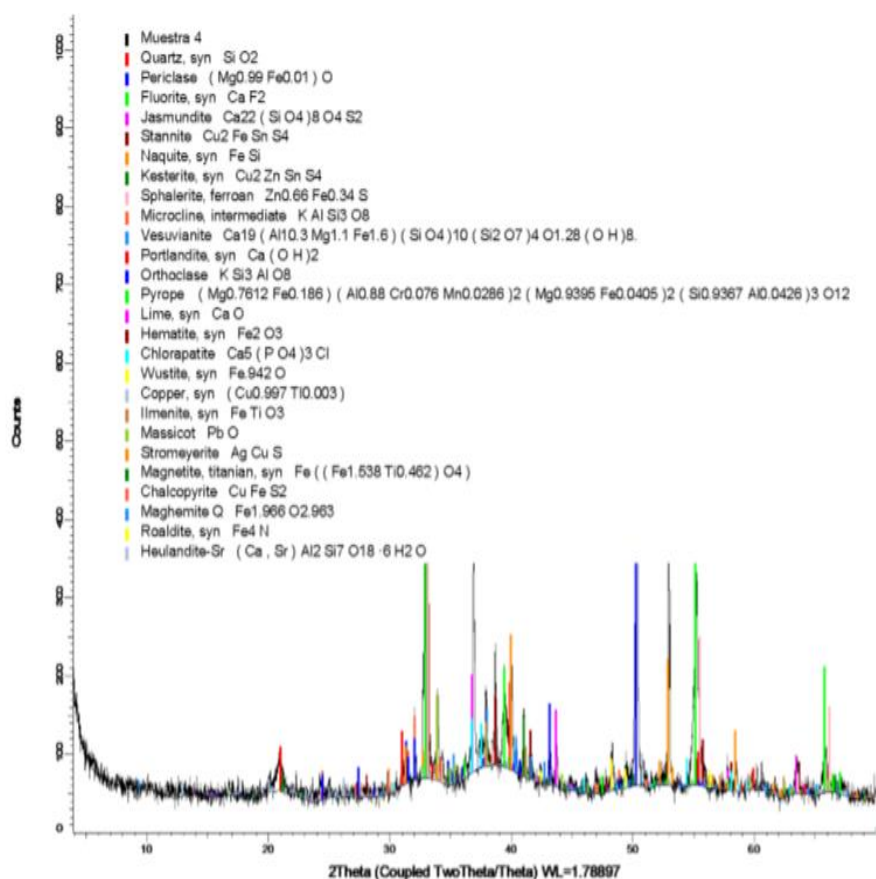
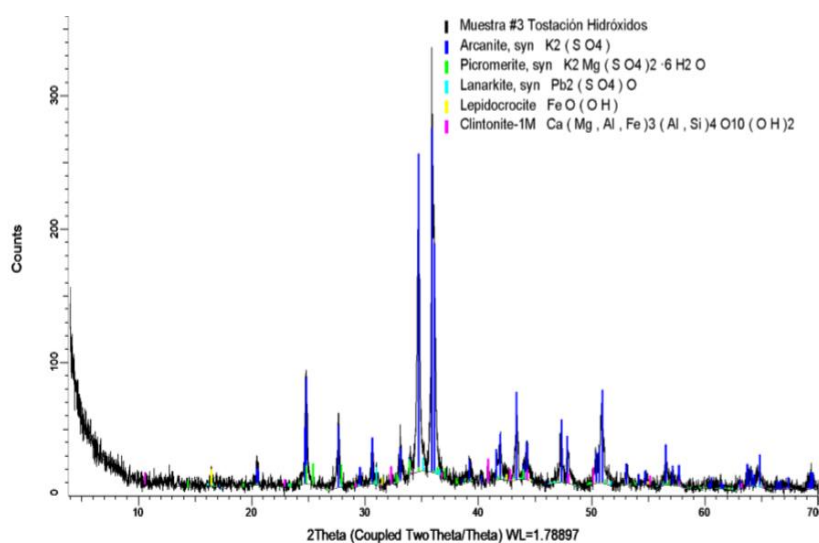
### Figura 64.

Cambios Estructurales en los productos silicotermicos en la obtención del Magnesio.



**Figura 65.**

Difractogramas de la Muestra Reaccionada mostrando los minerales identificados.



**Figura 66.**

Obteniendo Magnesio - UNMSM en un mini reactor aplicando Metalurgia Recuperativa y Economía Circular.

**Figura 67.**

(a) y (b) Magnesio - UNMSM obtenido en un mini reactor mediante Metalurgia Recuperativa y Economía Circular.



(a)



(b)

La presente encuesta fue validada por expertos, profesionales y futuros empresarios como clientes nacionales e internacionales, mostrando al magnesio, sus productos y aleaciones a lo largo de su ciclo de vida tecnológico. Con bastante aproximación mostramos la tendencia tecnológica nacional que recién está comenzando con la inserción del Magnesio, sus productos y aleaciones en el mercado tal como presenta el Modelo MgNaTecS.

#### Cuadro 14.

#### ENCUESTA DE OPINIÓN SOBRE INNOVACION Y EMPRENDIMIENTOS TECNOLÓGICOS DEL MAGNESIO, COMPUESTOS Y ALEACIONES (MgNaTecS)

Pregunta	a	b	c	d	e
1.- ¿Conoce usted, los siguientes minerales Magnesita, Dolomita, Magnesio ferrita y Talco entre otros?	Sí Todos	<u>sí algunos de ellos</u>	No a ninguno de ellos	No conozco a todos	Me abstengo
	32,7%	<u>51,5%</u>	1,0%	14,9%	0%
2.- ¿Sabía usted, que a nivel mundial los países productores de magnesio son mostrados en orden decreciente? China, Malasia, EEUU, Israel, Kazajistán, Rusia, Brasil.	<u>Sí</u>	No	No opino	Se poco de metales	
	<u>53,5%</u>	34,7%	7,9%	4,0%	
3.- La gama de aplicaciones del magnesio está presente en las tecnologías automotriz, aeroespacial, computadoras, agricultura, medicamentos. Marcar las que tenemos más cercana a nivel nacional.	tecnologías automotrices	aeroespacial	computadoras	<u>agricultura</u>	medicamentos
	15,8%	1,0%	5,9%	<u>49,5%</u>	27,7%
4.- ¿Sabía usted, que el óxido de magnesio es empleado con bastante éxito en la remediación de gases sulfurosos, efluentes metalúrgicos y en remediadores de suelos?	<u>Sí</u>	No	No opino	Se poco de óxidos.	
	<u>50,5%</u>	38,6%	6,9%	4,0%	
5.- ¿Sabía usted, que en salud pública los productos derivados del magnesio mejoran la calidad y cantidad de vida de las poblaciones?	<u>Sí</u>	No	No opino	Se poco de salud	Se poco de tecnología
	<u>75,8%</u>	12,1%	7,1%	4,0%	1,0%

<b>Pregunta</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>
6.- Es importante el interés en la industria mundial por el magnesio y sus aleaciones, a tal punto que es considerado como un material para la producción de máquinas y equipos, por sus buenas propiedades físicas, mecánicas y electroquímicas. ¿A nivel nacional también debe ser de interés tecnológico?	<b><u>Si</u></b>	No	No opino	Se poco de tecnología	
	<b><u>83,8%</u></b>	5,1%	10,1%	1,0%	
7.- El óxido de magnesio pertenece al campo técnico de la preparación de nanomateriales, nanoestructuras y se viene desarrollando investigaciones a nivel internacional. ¿Cree que es importante incursionar a nivel tecnológico en las nanoestructuras?	<b><u>Si</u></b>	No	No opino	Se poco de tecnología	
	<b><u>91,1%</u></b>	1,0%	3,0%	5,0%	
8.- El costo de magnesio siempre ha oscilado en los últimos años y el magnesio y sus aleaciones se han convertido en atractivos materiales estructurales para una amplia gama de aplicaciones, debido en parte a las propiedades físicas deseables, tales como peso ligero, de alta rigidez y resistencia específica, la maquinabilidad, y la capacidad para ser fácilmente reciclados. ¿Cree usted en la importancia, que la industria nacional pueda tomar en cuenta al magnesio y a sus aleaciones?	<b><u>Si</u></b>	No	No opino	Se poco de Mecánica y Manufactura	
	<b><u>87,1%</u></b>	2,0%	5,0%	5,9%	
9.- La materia prima para la producción del magnesio es abundante, y el magnesio es el quinto de los metales en abundancia en la tierra, después del silicio, aluminio, hierro y calcio. El magnesio constituye el 2.24% de la corteza terrestre. ¿Cree usted, que se dispone de suficiente magnesio en el aprovechamiento de la humanidad para mejorar su calidad de vida?	<b><u>Si</u></b>	No	No opino	Se poco de metales	
	<b><u>66,0%</u></b>	20,0%	12,0%	2,0%	
10.- Las sales de magnesio más notables son: el cloruro, el doble cloruro y el sulfato, encontrándose en los lechos salinos y son los constituyentes de los cuerpos salinos, los lagos salados y los océanos. ¿Es aprovechable esta fuente marina de provisión de magnesio para la humanidad?	<b><u>Si</u></b>	No	No opino	Se poco de productos químicos	
	<b><u>68,0%</u></b>	13,0%	17,0%	2,0%	

Pregunta	aa	b	c	d	e
11.- En cuanto a la tecnología industrial empleada actualmente para el metal magnesio se destaca: la fusión del Magnesio y Aluminio, adelantos recientes en la electrólisis de sales fundidas, nucleación electroquímica del Magnesio en un cátodo de acero, proceso continuo de producción Electrolítica del Magnesio, proceso de Tratamiento de Magnesio de alta Pureza, producción del Magnesio desde minerales que contienen Magnesio. ¿Cree importante incursionar a nivel tecnológico nacional en la producción de magnesio metálico?	<u>Si</u>	No	No opino	Se poco de magnesio metálico	
	<u>90,1%</u>	2,0%	3,0%	5,0%	
12.- Se comercializa a nivel internacional: Aleaciones de Litio y Magnesio, aleación Mg - Li- Al- Zr; las nuevas aleaciones amorfas Mg-Ce-Ni con alta resistencia y buena ductilidad la influencia de la adición de Escandio y Magnesio en la estructura y propiedades de la aleación Al-Li-Cu-Zr. ¿Cree importante incursionar a nivel tecnológico nacional en la producción de aleaciones de magnesio?	<u>Si</u>	No	No opino	Se poco de aleaciones de magnesio	
	<u>73,7%</u>	21,1%	4,1%	1,1%	
13.- Las materias primas primarias (Calizas Dolomíticas, Magnesita, Salmueras, Agua de Mar) o secundaria de compuestos de Magnesio (Oxido de Magnesio, Oxido de Calcio, MgCl <sub>2</sub> ) son de importancia a nivel industrial para obtener el magnesio y sus compuestos. ¿Sabía que a nivel nacional se cuentan con estas materias primas para hacer posible la industrialización del Magnesio?	<u>Si</u>	No	No opino	Ninguno de ellos	
	<u>61,9%</u>	28,9%	8,2%	1,0%	
14.- Las tecnologías industriales que se conocen para la obtención de compuestos del Magnesio se muestran. ¿Marcar cuál de ellas conoce?	Reducción Silicotermica	<u>Baño de Sales Fundidas</u>	Proceso Dow Chemical Co	Proceso Carbotermico	Proceso Pidgeon
	13,3%	<u>34,7%</u>	8,2%	31,6%	12,2%
15.- ¿Podrían marcar la experiencia profesional personal que poseen en relación con los procesos que se dan durante el ciclo de vida de la obtención del magnesio, sus compuestos y aleaciones?	exploración	procesamiento	obtención	<u>investigación</u>	comercialización
	19,4%	16,3%	17,3%	<u>43,9%</u>	3,1%

## CONCLUSIONES

1. La caracterización empleando técnicas mineralógicas, químicas, físicas entre otros a las materias primas dolomíticas nacionales empleados en el Modelo MgNaTecS; nos muestran que nuestros no metálicos están al nivel de los países exportadores de magnesio.
2. Se plantea el Numero Adimensional ( $DL_1$ ) para la operacionalización de las variables de caracterización de las materias primas dolomíticas, la prueba de hipótesis N°1 muestra buena correlación ( $r^2 = 0.9588$ ) que al contrastarlas con materias primas a nivel nacional e internacional están dentro de los controles adecuados para ser procesados con las tecnologías químico - metalúrgicas.
3. Se plantea el Numero Adimensional ( $DL_2$ ) para la operacionalización de las variables del Desarrollo de Procesos Pirometalúrgicos, la prueba de hipótesis N°2 muestra buena correlación ( $r^2 = 0.9967$ ) que al contrastarlas con las tecnologías internacionales están dentro de los controles adecuados de los procesos químico - metalúrgicos.
4. Se plantea el Numero Adimensional ( $DL_3$ ) para la operacionalización de las variables de la Contribución Tecnológica y Comercial empleados en el Modelo MgNaTecS, la prueba de hipótesis N°3 muestra buena correlación ( $r^2 = 0.9967$ ) que al contrastarlas con las tecnologías Comerciales internacionales están dentro de los controles adecuados para su posterior procesamiento.
5. El Numero Adimensional del Magnesio que proponemos para la simulación de las Tecnologías de Manufactura y las Propiedades Mecánicas del Magnesio (NAMg).
6. Mostramos metodologías de Innovación y Emprendimiento, el diseño del Lienzo de CANVAS dinámico con la participación de expertos nacionales e internacionales, profesionales y futuras empresas como clientes, proponiendo al Magnesio, sus productos y aleaciones a lo largo de su ciclo de vida tecnológico factibles en la inserción en el mercado nacional tal como postula **el Modelo MgNaTecS**.

## RECOMENDACIONES

1. Desarrollar pruebas de pre - piloto, piloto para escalar a nivel Industrial para las calizas dolomíticas nacionales.
2. Desarrollar Investigaciones con las materias primas de salmueras y Agua de Mar.
3. Investigar la asociación talco, sulfuros y sulfatos y plantear las recuperaciones de productos del Magnesio.
4. Capacitar a las empresas de Fundición sobre el Magnesio y sus Aleaciones.
5. Desarrollar materiales tecnológicos en base al Magnesio y sus aleaciones.
6. Hacer Investigaciones para aplicación de los productos del Magnesio en la Agricultura.
7. Desarrollar aleaciones livianas de Magnesio para distintas aplicaciones industriales.

## REFERENCIAS

- Avedesian, M. y Baker, H. (1999). Magnesium and Magnesium Alloys, *ASM Specialty Handbook*.
- Austin, G. (1989) Manual de Procesos Químicos, Tomo III, Pg. 298
- Baláz, P. (2003). Mechanical Activation in Hydrometallurgy, Vol.72(1-4), pp. 341-354. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(03\)00109-1](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(03)00109-1)
- Blencoe et. al. (2013). Production of magnesium metal. (U.S Patent No. 1884993). United States Patent Application Publication. <https://patents.google.com/patent/US20130056916A1/en>
- Blencoe, J; Anovitz, L.; Palmer, D.; Beard, J. (2013). *Production of magnesium metal* (U.S Patent No. 2013/005691.6 A1). Patent Application Publication. <https://patents.google.com/patent/US20130056916A1/en>
- Bronfin B., Aghion E., Schumann S., Bohling P., Ulrich Kainer K., Magnesium alloy for high temperature applications (U.S. Patent No. 6,139,651) *US*.



United States Patent.  
<https://patents.google.com/patent/US6139651A/en>

Bronfin et al. (2000). Magnesium alloy for high temperature applications. US Patent #US6139651.

Bronfin et al. (2001). Magnesium alloy for high temperature applications. World Patent #WO0144529.

Callister, W. (2012). *Introducción a la ciencia e Ingeniería de los materiales* (2 ed.). (R. Arrijoja, Trans,Ed.). Editorial Limusa. (Obra original publicada en 1985).

Cheng-bo Yang, Y. Tian, T. Qu, B. Yang, B. Xu, Y. Dai (2013). Production of magnesium during carbothermal reduction of magnesium oxide by differential condensation of magnesium and alkali vapours. *Journal of Magnesium and Alloys*, 1(4), 323-329. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213956714000048>

Dean, C. (2003). *The Magnesium Miracle*. Random House USA.

Diecaster Bulletin No. 6 (2001). AS21X Information Manual. Hydro Magnesium website. [www.hydrumagnesium.com](http://www.hydrumagnesium.com).

Drucker, P. (2004). *La Gerencia en la Sociedad Futura*. Editorial Norma.

Dunin-Borkowski, E. (1996). *Minerales Industriales del Perú: Oportunidades de Negocios*. INGEMMET.

E. Aghion, A. Arnon. (2007). *Mechanical Properties and Environmental Behavior of a Magnesium Alloy with a Nano/SubMicron Structure*. Department of Materials Engineering, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel.

Espaliat, C. M. (2017). *Economía Circular y Sostenibilidad – Nuevo enfoque para la Creación de Valor*. Wolfypablo. [https://wolfypablo.com/documentacion/documentos/2017-%202010/710%20Economia circular y sostenibilidad.pdf](https://wolfypablo.com/documentacion/documentos/2017-%202010/710%20Economia%20circular%20y%20sostenibilidad.pdf) .

Faloh et al (2006). *Gestión de la Innovación*. Editorial Academia, La Habana.

Hansgirg, F. (1932). *Production of metallic magnesium*. (U.S Patent No. 1884993) United States Patent Office  
<https://patents.google.com/patent/US1884993>

Hansgirg, J. M. (1952). *Production of magnesium*. (U.S Patent No. 2,582,119) United States Patent Office  
<https://patents.google.com/patent/US2582119>

Holcroft, G., Whitton, T., Skalbania, N. S., Dreisinger, D., Zuliani, D. (2018). Novel Modular Process to Produce Magnesium Metal from Serpentine

Mine Tailings.  
[https://www.researchgate.net/publication/329923727 Novel Modular Process to Produce Magnesium Metal from Serpentine Mine Tailings Text](https://www.researchgate.net/publication/329923727_Novel_Modular_Process_to_Produce_Magnesium_Metal_from_Serpentine_Mine_Tailings_Text)

Institute of Metals (1968-2000). Journals of the Institute of Metals.

International Magnesium Association website, [www.intlmag.org](http://www.intlmag.org).

Ismail, S. (2019). Organizaciones Exponenciales - El Futuro Hoy. *Growth institute*. <https://blog.growthinstitute.com/es/los-11-atributos-que-conforman-a-las-organizaciones>

Kawabata, K., Nishino, N., Nishino, S., Iwata, Y., Genma, Y., Seguchi, T. (2015). *Recycled magnesium alloy, process for producing the same, and magnesium alloy*. (US Patent No. 9,169,542 B2). United States Patent <https://patents.google.com/patent/US9169542>

Kawamura, Y., Yamasaki, M. (2015). *Magnesium alloy and production method of the same* (US Patent No. 2015/0090374. A1) United States Patent Application Publication. <https://patents.google.com/patent/US20150090374A1/en>

Kibby, R. (1980). *Magnesium production*. Vancouver, (U.S Patent No. 4,204,860). United States Patent <https://patents.google.com/patent/US4204860>

Kuhn, T. (1988). *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. Fondo de Cultura Económica de Argentina.

Lovera et al. (2003). Últimos Avances en la Tecnología del Magnesio y sus Aleaciones en, II Congreso Internacional de Metalurgia de Transformación.

Lovera, D. (1994). Tecnología de Magnesio Electrolítico. Unidad de Post Grado-UNMSM.

Montes, J. M., Cuevas, F. G. y Cintas, J. (2014). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Ediciones Paraninfo.

Nielson et al. (2001). *Minerales para la Agricultura en Latinoamérica*. CYTED.

Nunes et al. (1990). Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, *ASM Handbook*, Vol.2, pp. 458. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v02.9781627081627>

Pauli, G. (2009). *Economía Azul*. Efatunle. <https://sites.google.com/site/efatunle/la-economia-azul>.

Pauli, G. (2015). *La economía azul: 10 años, 100 innovaciones, 100 innovaciones de empleos*. (A. García, Trans. Ed.). Tusquets Editores. (Obra original publicada en 2010).

- Pekguleryuz, M y Baril, E. (2001). Creep-Resistant Magnesium Diecasting Alloys, Vol 42(7), pp. 1258-1267. *International Magnesium Association*. <https://doi.org/10.2320/matertrans.42.1258>
- Pekguleryuz, M. O. (2001). Development of Creep Resistant Magnesium Diecasting Alloys, *In Materials Science Forum*, Vol. 350-351, pp.131-140. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.350-351.131>.
- Pekguleryuz, M. O. (2004). High Temperature Magnesium Alloy Development. *Noranda Magnesium*. [www.norandamagnesium.com](http://www.norandamagnesium.com).
- Sieracki, E.G., Velazquez, J.J. y Kabiri, K. (1996). *Compressive Stress Retention Characteristics of High Pressure Die Casting Magnesium Alloys*. SAE International.
- Smith, F. W. y Hashemi, J. (2014). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales* (5 ed.). (G. Nagore, Trans.Ed.). McGraw-Hill/Interamericana Editores. (Obra original publicada en 1993).
- Steinmüller, K. (1999). *Depósitos metálicos en el Perú, su metalogenia, sus modelos, su exploración y el medio ambiente*. INGEMMET.
- The BNF Metals Technology Center (1977-2000). BNF Abstracts. <http://worldcat.org/identities/lccn-n80089899/>
- Tumialan, P. (2003). *Compendio de Yacimientos Minerales del Perú*. INGEMMET.
- Vargas, D. (1942). *El Mercurio de Puno y el Magnesio del valle de Chicama*. Cuerpo de Minas del Perú.
- Williams, J. E.; Dean, L.; McCutchen, C. (1959). *Electrolytic production of magnesium metal*. (U.S Patent No. 2,888,389) United States Patent Office <https://patents.google.com/patent/US2888389>
- Winy Wulandari, Geoffrey A. Brooks, Muhammad A. Rhamdhani, Brian J. Monaghan (2010). Magnesium: current and alternative production routes. *Swinburne University of Technology*. <https://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=2295&context=engp apers>
- Zhang, Y; Su, Y.; Wei, H.; Zhou, P. (2010). *Preparation method of nanostructures of magnesium oxide*. (CN Patent No. 101898774 A) Patent China. <https://patents.google.com/patent/CN101898774A/en>

## ANEXOS

### 1.0 Números Adimensionales en la Tecnología del Magnesio

#### 1.1 Numero Adimensionales de Caracterización (DL<sub>1</sub>)

**Variable Independiente:** Leyes, microscopias, rayos x, % Volumétrico.

**Variable Dependiente:** Peso de Calizas, Salmueras, Relaves Mineros.

$$W_{Relieve\ miner\ o} = (\%CaCO_3MgCO_3, Rayos\ X, \%CaO, \%MgO, \%ZnO, Tama\~{n}o\ Particula)$$

Adimensionalizando:

$$[W_{Relieve\ miner\ o}] = MLT^{-2}; [\%CaCO_3MgCO_3] = 1$$

$$[Rayos\ X] = 1 ; [\%CaO] = 1; [\%MgO] = 1$$

$$[\%ZnO] = 1; [Tama\~{n}o] = 1$$

$$\text{Numero de } \pi \text{ de Buckingham: } \pi = 7 - 3 = 4$$

$$\pi_1 = [\%CaCO_3MgCO_3] * [W_{Relieve\ miner\ o}]^{x_1} * [Rayos\ X]^{x_2} * [Tama\~{n}o]^{x_3} \dots\dots\dots (11.0)$$

$$\pi_2 = [MgO] * [W_{Relieve\ miner\ o}]^{x_4} * [Rayos\ X]^{x_5} * [Tama\~{n}o]^{x_6} \dots\dots\dots (12.0)$$

$$\pi_3 = [CaO] * [W_{Relieve\ miner\ o}]^{x_7} * [Rayos\ X]^{x_8} * [Tama\~{n}o]^{x_9} \dots\dots\dots (13.0)$$

$$\pi_4 = [ZnO] * [W_{Relieve\ miner\ o}]^{x_{10}} * [Rayos\ X]^{x_{11}} * [Tama\~{n}o]^{x_{12}} \dots\dots\dots (14.0)$$

Resolviendo (1.0)

$$\pi_1 = M^0L^0T^0 = 1 * (MLT^{-2})^{x_1} * (L)^{x_2} * (L)^{x_3} \dots\dots\dots (15.0)$$

$$M \Rightarrow 0 = x_1 \rightarrow x_1 = 0$$

$$L \Rightarrow 0 = x_1 + x_2 + x_3 \rightarrow x_2 = -x_3$$

$$T \Rightarrow 0 = -2x_1 \quad \rightarrow \quad x_1 = 0 \quad \dots (16.0)$$

$$x_2 = 1 \quad \dots (17.0)$$

$$x_3 = -1 \quad \dots (18.0)$$

$$\pi_1 = (\%CaCO_3MgCO_3)^1 * (Rayos X)^1 * (Tamaño)^1 \quad \dots (19.0)$$

Resolviendo (2.0), (3.0), (4.0)

$$\pi_2 = (\%MgO) * (Rayos X) * (Tamaño)^{-1} \quad \dots (20.0)$$

$$\pi_3 = (\%CaO) * (Rayos X) * (Tamaño)^{-1} \quad \dots (21.0)$$

$$\pi_4 = (\%ZnO) * (Rayos X) * (Tamaño)^{-1} \quad \dots (22.0)$$

$$\pi_5 = \pi_2 * \pi_3 * \pi_4 = [\%MgO] * [\%CaO] * [\%ZnO] * [Rayos X]^3 * [Tamaño]^{-3} \quad \dots (23.0)$$

$$\frac{\pi_1}{\pi_5} = \frac{(\%CaCO_3MgCO_3) * (Rayos X) * (Tamaño)^{-1}}{[\%MgO] * [\%CaO] * [\%ZnO] * [Rayos X]^3 * [Tamaño]^{-3}} \quad \dots (24.0)$$

$$\pi_6 = \frac{(\%CaCO_3MgCO_3)}{[\%MgO] * [\%CaO] * [\%ZnO]} * \frac{(Tamaño)^2}{[Rayos X]^2} \quad \dots (25.0)$$

Nro. Adimensional Caracterización (DL<sub>1</sub>)

Análisis Mineralógico	Análisis Microscópico Electrónico
↓	↓
$(DL)_1 = \left( \frac{(\%CaCO_3 * MgCO_3)}{(\%MgO)(\%CaO)(\%ZnO)} \right) * \left( \frac{Tamaño}{Rayos X} \right)^2 \quad \dots (1.0)$	
↑	↑
Análisis Químico	Análisis Físico

## 1.2 Numero Adimensionales de Procesos (DL2)

**Variable Independiente:** % Mg, % Al, % Zn, Tiempo, Temperatura, flujo de gas inerte, peso MgO, Potencia, Densidad de Corriente.

**Variable Dependiente:** Peso de aleación de magnesio

$W_{aleación}$   
 = (%Mg; %Al; %Zn; tiempo; temperatura; flujo de gas inerte; peso MgO; Potencia; DC)

$$W_{aleación} = f\left(\%Mg; t; \frac{T - T_{00}}{T_0 - T_{00}}; f_{gas}; Potencia; DC\right) \dots (26.0)$$

$$[\%Mg] = 1 \qquad [W_{aleación}] = MLT^{-2}$$

$$[t] = T \qquad [f_{gas}] = L^3T^{-1}$$

$$\left[\frac{T - T_{00}}{T_0 - T_{00}}\right] = 1 \qquad [Pot] = ML^2T^{-3}$$

$$[DC] = IL^{-2}$$

Numero de  $\pi$  de Buckingham:  $\pi = 7 - 3 = 4$

$$\pi_1 = [W_{aleación}] * [f_{gas}]^{x_1} * [Pot]^{x_2} * [t]^{x_3} \dots (27.0)$$

$$\pi_2 = [\%Mg] * [f_{gas}]^{x_4} * [Pot]^{x_5} * [t]^{x_6} \dots (28.0)$$

$$\pi_3 = \left[\frac{T - T_{00}}{T_0 - T_{00}}\right] * [f_{gas}]^{x_7} * [Pot]^{x_8} * [t]^{x_9} \dots (29.0)$$

$$\pi_4 = [t] * [f_{gas}]^{x_{10}} * [Pot]^{x_{11}} * [t]^{x_{12}} \dots (30.0)$$

$$(\pi_1) \quad M^0L^0T^0 = (MLT^{-2}) * (L^3T^{-1})^{x_1} * (ML^2T^{-3})^{x_2} * (T)^{x_3}$$

$$M \Rightarrow 0 = 1 + x_2 \Rightarrow x_2 = -1$$

$$L \Rightarrow 0 = 1 + 3x_1 + 2x_2$$

$$T \Rightarrow 0 = -2 - x_1 - 3x_2 + x_3$$

$$0 = 1 + 3x_1 - 2 \rightarrow 1 = 3x_1 \rightarrow x_1 = 1/3$$

$$0 = -2 - \frac{1}{3} + 3 + x_3 \rightarrow 0 = \frac{3}{3} - \frac{1}{3} + x_3$$

$$x_3 = -\frac{2}{3}$$

$$\pi_1 = [W_{aleación}] * [fgas]^{1/3} * [Pot]^{-1} * [t]^{-2/3}$$

$$\pi_1 = \frac{[W_{aleación}] * [fgas]^{1/3}}{[Pot] * [t]^{2/3}} \dots (31.0)$$

$$(\pi_2) \quad M^0 L^0 T^0 = (1) * (L^3 T^{-1})^{x_4} * (ML^2 T^{-3})^{x_5} * (T)^{x_6}$$

$$M \Rightarrow 0 = x_5$$

$$L \Rightarrow 0 = 3x_4 + 2x_5 \rightarrow x_4 = 0$$

$$T \Rightarrow 0 = -x_4 - 3x_5 + x_6 \rightarrow x_6 = 0$$

$$\pi_2 = [%Mg] * [fgas]^0 * [Pot]^0 * [t]^0$$

$$\pi_2 = [%Mg] \dots (32.0)$$

$$(\pi_3) \quad M^0 L^0 T^0 = (1) * (L^3 T^{-1})^{x_7} * (ML^2 T^{-3})^{x_8} * (T)^{x_9}$$

$$M \Rightarrow 0 = x_8$$

$$L \Rightarrow 0 = 3x_7 + 2x_8 \rightarrow x_7 = 0$$

$$T \Rightarrow 0 = -x_7 - 3x_8 + x_9 \rightarrow x_9 = 0$$

$$\pi_3 = \left[ \frac{T - T_{00}}{T_0 - T_{00}} \right] \dots (33.0)$$

$$(\pi_4) \quad M^0 L^0 T^0 = (1) * (L^3 T^{-1})^{x_{10}} * (ML^2 T^{-3})^{x_{11}} * (T)^{x_{12}}$$

$$M \Rightarrow 0 = x_{11}$$

$$L \Rightarrow 0 = 3x_{10} + 2x_{11} \rightarrow x_{10} = 0$$

$$T \Rightarrow 0 = -x_{10} - 3x_{11} + x_{12} \rightarrow x_{12} = 0$$

$$\pi_4 = [%Zn] \dots (35.0)$$

$$\pi_5 = \pi_2 * \pi_3 * \pi_4$$

$$\pi_5 = [\%Mg] * \left[ \frac{T - T_{00}}{T_0 - T_{00}} \right] * [\%Zn] \dots (36.0)$$

$$\pi_{(DL)_2} = \frac{[W_{aleación}] * [f_{gas}]^{1/3}}{[Pot] * [T]^{2/3} * [\%Mg] * \left[ \frac{T - T_{00}}{T_0 - T_{00}} \right] * [\%Zn]} \dots \dots (2.0)$$

### 1.3 Numero Adimensionales de Producción (DL<sub>3</sub>)

**Variable Independiente:** Leyes, Pesos, tiempo, costos unitarios, temperatura, dureza, resistencia de tracción y flexión.

**Variable Dependiente:** Producción de aleaciones livianas de magnesio

$$W_{aleación} = (\%Mg; \%Al; \%Zn; tiempo; temperatura; \frac{Dureza}{Area}; Resistencia Traccion; Modulo de Young)$$

$$W = peso aleación; [w] = MLT^{-2}$$

$$Leyes = \%Mg; \%Al; \%Zn$$

$$t = tiempo; [t] = T$$

$$T = temperatura; [T] = \left( \frac{T - T_{00}}{T_0 - T_{00}} \right)$$

$$\frac{Dureza}{Area} = \frac{Fuerza}{Area^2}; \left[ \frac{Dureza}{Area} \right] = ML^{-3}T^{-2}$$

$$Resistencia Tracción = Presión; [Resistencia Tracción] = ML^{-1}T^{-2}$$

$$Modulo de Young = Presión; [Modulo de Young] = ML^{-1}T^{-2}$$



$$m = 3 \qquad n = 7$$

$$\pi = n - m = 7 - 3 = 4$$

$$\pi_1 = [w] * \left[ \frac{Dureza}{Area} \right]^{x_1} * [Resistencia Tracción]^{x_2} * t^{x_3}$$

..... (1.0)

$$\pi_2 = [%Mg] * \left[ \frac{Dureza}{Area} \right]^{x_4} * [Resistencia Tracción]^{x_5} * t^{x_6}$$

..... (2.0)

$$\pi_3 = \left[ \frac{T-Too}{To-Too} \right] * \left[ \frac{Dureza}{Area} \right]^{x_7} * [Resistencia Tracción]^{x_8} * t^{x_9}$$

..... (3.0)

$$\pi_4 = [Modulo de Young] * \left[ \frac{Dureza}{Area} \right]^{x_{10}} * [Resistencia Tracción]^{x_{11}} * t^{x_{12}}$$

..... (4.0)

( $\pi_1$ ) Reemplazando en (1.0)

$$M^0 L^0 T^0 = [MLT^{-2}] * [ML^{-3}T^{-2}]^{x_1} * [Resistencia Tracción]^{x_2} * [T]^{x_3}$$

$$M \Rightarrow 0 = 1 + x_1 + x_2 \qquad x_1 + x_2 = -1$$

$$L \Rightarrow 0 = 1 - 3x_1 - x_2 \qquad 3x_1 + x_2 = +1$$

$$T \Rightarrow 0 = -2 - 2x_1 - 2x_2 + x_3 \qquad 2x_1 + 2x_2 - x_3 = -2$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & -1 \end{vmatrix} \Rightarrow \Delta = 2$$

$$\Delta_{x_1} = 2 \qquad x_1 = \frac{\Delta_{x_1}}{\Delta_x} = \frac{2}{2} = 1$$

$$\Delta_{x_2} = 2^2 \qquad x_2 = \frac{\Delta_{x_2}}{\Delta_x} = \frac{2^2}{2} = 2$$

$$\Delta_{x_3} = 0 \qquad x_3 = \frac{\Delta_{x_3}}{\Delta_x} = \frac{0}{2} = 0$$

$$\pi_1 = [w] * \left[ \frac{Dureza}{Area} \right]^1 * [Resistencia Tracción]^{-2} * [t]^0$$

$$\pi_1 = [w] * \left[ \frac{Dureza}{Area} \right] * [Resistencia Tracción]^{-2}$$

$$\pi_1 = \frac{[w] * \left[ \frac{Dureza}{Area} \right]}{[Resistencia Tracción]^2} \dots (37.0)$$

$$\pi_1 = \frac{[MLT^{-2}] * [ML^{-3}T^{-2}]^1}{[ML^{-1}T^{-2}]^2}$$

$$\pi_1 = 1.0$$

Número adimensional:  $\pi_1 = \frac{[w] * \left[ \frac{Dureza}{Area} \right]}{[Resistencia Tracción]}$

( $\pi_2$ ) Reemplazando en (2.0)

$$M^0 L^0 T^0 = [1] * [ML^{-3}T^{-2}]^{x_4} * [ML^{-1}T^{-2}]^{x_5} * [T]^{x_6}$$

$$M \Rightarrow 0 = x_4 + x_5$$

$$x_4 + x_5 = 0$$

$$L \Rightarrow 0 = -3x_4 - x_5$$

$$3x_4 + x_5 = 0$$

$$T \Rightarrow 0 = -2x_4 - 2x_5 + x_6$$

$$2x_4 + 2x_5 - x_6 = 0$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & -1 \end{vmatrix} \Rightarrow \Delta = 2$$

$$\Delta_{x_4} = 0$$

$$x_4 = 0$$

$$\Delta_{x_5} = 0$$

$$x_5 = 0$$

$$\Delta_{x_6} = 0$$

$$x_6 = 0$$

Número adimensional:  $\pi_2 = \%Mg \dots (38.0)$

( $\pi_3$ ) Reemplazando en (3.0)

Número adimensional  $\pi_3 = \left[ \frac{T - T_{00}}{T_0 - T_{00}} \right] \dots (39.0)$

( $\pi_4$ ) Reemplazando en (4.0)

$$M^0 L^0 T^0 = [ML^{-1}T^{-2}] * [ML^{-3}T^{-2}]^{x_{10}} * [ML^{-1}T^{-2}]^{x_{11}} * [T]^{x_{12}}$$

$$M \Rightarrow 0 = 1 + x_{10} + x_{11} \qquad x_{10} + x_{11} = -1$$

$$L \Rightarrow 0 = -1 - 3x_{10} - x_{11} \qquad 3x_{10} + x_{11} = -1$$

$$T \Rightarrow 0 = -2 - 2x_{10} - 2x_{11} + x_{12} \qquad 2x_{10} + 2x_{11} - x_{12} = 2$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 3 & 1 & 0 \\ 2 & 2 & -1 \end{vmatrix} \Rightarrow \Delta = 2$$

$$\Delta_{x_{10}} = 0 \qquad x_{10} = 0$$

$$\Delta_{x_{11}} = -2 \qquad x_{11} = -1$$

$$\Delta_{x_{12}} = 0 \qquad x_{12} = 0$$

$$\pi_4 = [\text{Modulo de Young}] * [\text{Resistencia Tracción}]^{-1}$$

Numero adimensional:  $\pi_4 = \frac{[\text{Modulo de Young}]}{[\text{Resistencia Tracción}]}$

$$DL_3 = \left[ \frac{\pi_1 * \pi_4 * \pi_2}{\pi_3} \right]$$

$$DL_3 = \frac{W_{\text{Aleación MgAlZn}} * \left[ \frac{\text{Dureza}}{\text{Area}} \right] * [\text{Modulo de Young}] * \%Mg}{[\text{Resistencia Tracción}^2] * \left[ \frac{T - T_{00}}{T_0 - T_{00}} \right]} \dots\dots (3.0)$$

## 2.0 Matriz de Consistencia

### Cuadro 15.

EL MODELO MGNATECS PARA LA OBTENCIÓN DE ALEACIONES LIVIANAS DE MAGNESIO COMO PRODUCTO SUSTITUTO EMPLEANDO RECURSOS NACIONALES EN LA FABRICACIÓN DE PIEZAS Y EQUIPOS.

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPOTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>METODOLOGIA</b>
<p><b><u>Problema Principal</u></b></p> <p>¿En qué medida al aplicar a los recursos no metálicos dolomíticos nacionales el Modelo MgNaTecS se obtienen productos y aleaciones livianas de magnesio para la fabricación de piezas y equipos?</p> <p><b><u>Problema Específico N° 1</u></b></p> <p>¿De qué manera caracterizamos los recursos no metálicos nacionales para aplicar el Modelo MgNaTecS en la obtención de productos y</p>	<p><b><u>Objetivo General</u></b></p> <p>Diseñar el Modelo MgNaTecS para emplear recursos no metálicos dolomíticos nacionales para obtener productos y aleaciones livianas de magnesio, para la fabricación de piezas y equipos.</p> <p><b><u>Objetivo Especifico N°1</u></b></p> <p>Caracterizar los recursos no metálicos nacionales en la aplicación del Modelo MgNaTecS para la obtención de productos y</p>	<p><b><u>Hipótesis Principal</u></b></p> <p>El Modelo MgNaTecS emplea recursos no metálicos dolomíticos nacionales con procesos tecnológicos para la obtención de productos y aleaciones livianas de magnesio, que permitirán la fabricación de piezas y equipos.</p> <p><b><u>Hipótesis Especifica N°1.</u></b></p> <p>Caracterizar los recursos no metálicos dolomíticos nacionales empleando técnicas mineralógicas, químicas, físicas.</p>	<p><b><u>Hipótesis Principal</u></b></p> <p>V.I: Caracterizar, Procesos y Tecnologías comerciales.</p> <p>V.D Modelo MagNatecS</p> <p><b><u>Hip. Especifica N°1</u></b></p> <p>V.I: Leyes, microscopias, rayos X, % Volumétrico.</p> <p>V.D: Peso de Calizas, Salmueras, Relaves Mineros.</p>	<p><b><u>Universo Muestra</u></b> Dolomitas Cálizas, Relaves.</p> <p><b><u>Tipo de Investigación</u></b> Fundamental, Aplicativa e Innovativa</p> <p><b><u>Diseño Específico</u></b> Obtención de productos y aleaciones livianas de magnesio.</p> <p><b><u>Estructura del diseño</u></b> Valorización de RRNN Caracterización Prueba Metalúrgicas Pruebas Físicas Pruebas Mecánicas Pruebas Estandarización</p>

<p>aleaciones livianas de magnesio?</p> <p><b><u>Problema Específico N° 2</u></b></p> <p>¿Cómo aplicamos a los recursos no metálicos dolomíticos nacionales mediante el Modelo MgNaTecS procesos y tecnologías adecuadas para sintetizar productos y aleaciones de magnesio?</p> <p><b><u>Problema Específico N° 3</u></b></p> <p>¿En qué medida al aplicar el Modelo MgNaTecS se contribuye Tecnológica y Comercialmente en la obtención de productos de valor del magnesio a lo largo de su ciclo de vida?</p>	<p>aleaciones livianas de magnesio.</p> <p><b><u>Objetivo Especifico N°2</u></b></p> <p>Al aplicar a los recursos no metálicos dolomíticos nacionales el Modelo MgNaTecS con procesos y tecnologías adecuadas obtenemos productos y aleaciones livianas de magnesio.</p> <p><b><u>Objetivo Especifico N°3</u></b></p> <p>Al aplicar el Modelo MgNaTecS se contribuye Tecnológica y Comercialmente en la obtención de productos de valor del magnesio a lo largo de su ciclo de vida.</p>	<p><b><u>Hipótesis Especifica N°2</u></b></p> <p>Aplicar procesos tecnológicos químicos - metalúrgicos adecuados para producir productos y aleaciones livianas de magnesio.</p> <p><b><u>Hipótesis Especifica N°3</u></b></p> <p>La aplicación del Modelo MgNaTecS contribuye Tecnológica y Comercialmente en la obtención de productos de valor a lo largo del ciclo de vida del magnesio.</p>	<p><b><u>Hip. Especifica N°2</u></b></p> <p>V. I: %Mg, %Al, % Zn, Pesos MgO, peso MgCl<sub>2</sub>, tiempo, temperatura, dureza, Resistencia de tracción Flujo de gas inerte.</p> <p>V. D: Peso de aleación demagnesio</p> <p><b><u>Hip. Especifica N°3</u></b></p> <p>V.I: Leyes, Pesos, tiempo, costos unitarios, temperatura, dureza, Resistencia de Tracción.</p> <p>V. D: Producción de aleaciones livianas de magnesio.</p>	<p><b><u>Plan a seguir</u></b></p> <p>La metodología se basará en el desarrollo de pruebas experimentales para la Obtención de productos y Aleaciones Livianas para fabricar Piezas y Equipos</p> <p><b><u>Estrategia</u></b></p> <p>Planeamiento Estratégico Tablero de Mando</p> <p><b><u>Instrumentos</u></b></p> <p>a) Normas de Fabricación b) Normas de Seguridad c) Normas de Calidad d) Normas Ambientales e) Modelos de Simulación de Fenómenos de Transporte.</p>
--	--	---	---	---

### 3.0 ENCUESTA DE OPINION SOBRE INNOVACION y EMPRENDIMIENTOS TECNOLOGICOS DEL MAGNESIO, COMPUESTOS Y ALEACIONES (MgNaTecS)

**Objetivo:** Divulgar el Modelo MgNaTecS en el empleo de recursos no metálicos nacionales para la obtención del Magnesio, Productos y Aleaciones para la fabricación de piezas y equipos.

\*Al encuestado le tomará 5 minutos para dar respuesta a las preguntas establecidas

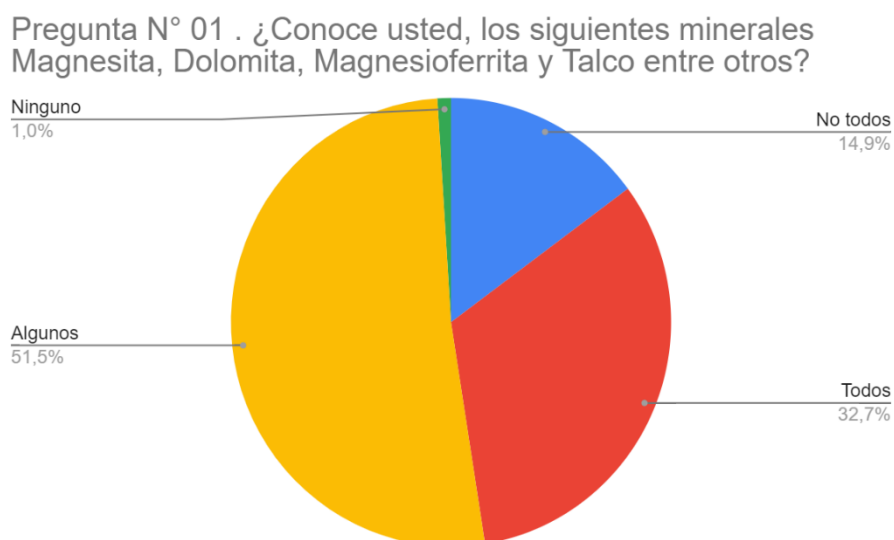
[https://docs.google.com/forms/d/1ZaQSEeM-wuqI-C-Q1CqPPucFRiZm9Yehse\\_8oDGgajA/viewform?edit\\_requested=true](https://docs.google.com/forms/d/1ZaQSEeM-wuqI-C-Q1CqPPucFRiZm9Yehse_8oDGgajA/viewform?edit_requested=true)

1.- ¿Conoce usted, los siguientes minerales Magnesita, Dolomita, Magnesio ferrita y Talco entre otros?

- a) Si Todos
- b) si algunos de ellos
- c) No a ninguno de ellos
- d) No conozco a todos
- e) Me abstengo

**Figura 68.**

Gráfico Consolidado de la Respuesta N°1



**Nota:** Los minerales de Magnesita, Dolomita, Magnesio ferrita y Talco, son conocidos: Algunos (51.5 %), Todos (32.7 %) , No Todos (14.9%) y Ninguno (1.0%)

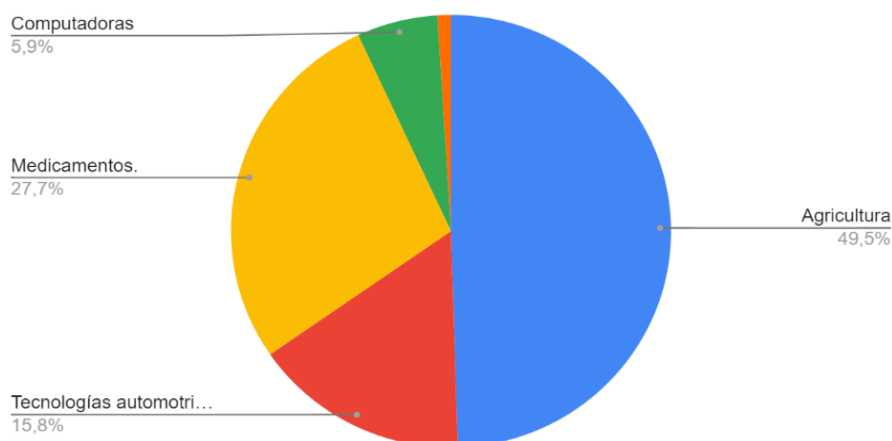
2.-Sabía usted: ¿Qué a nivel mundial los países productores de magnesio son mostrados en orden decreciente? China, Malasia, EEUU, Israel, Kazajistán, Rusia, Brasil.

- a) Si
- b) No
- c) No opino
- d) Se poco de metales

### Figura 69.

Gráfico Consolidado de la Respuesta N°2

Pregunta N°03. La gama de aplicaciones del magnesio se tiene en las tecnologías automotriz, aeroespacial, computad...



**Nota:** Los Países top en producción de magnesio son: China, Malasia, EEUU, Israel, Kazajistán, Rusia, Brasil:

Si (53.5%), No (34.7%), No Opina (7.9%) y saben poco de Metales (4.0%).

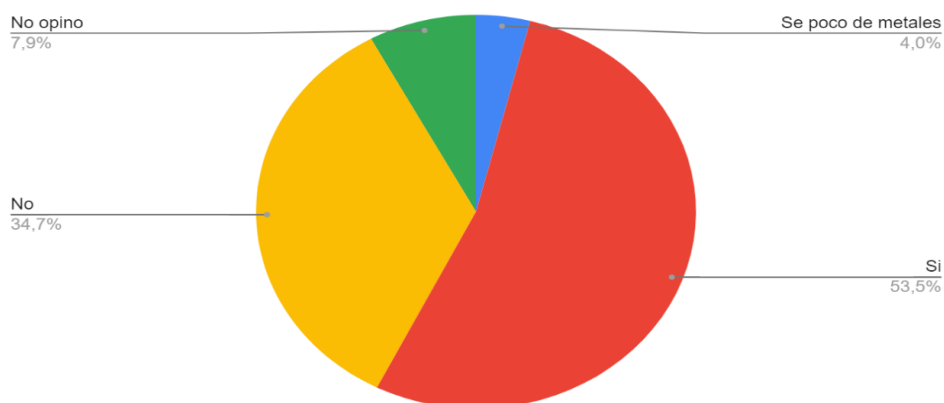
3.- La gama de aplicaciones del magnesio se tiene en las tecnologías automotriz, aeroespacial, computadoras, agricultura, medicamentos. Marcar las que tenemos más cercana a nivel nacional.

- a) tecnologías automotrices
- b) aeroespacial
- c) computadoras
- d) agricultura
- e) medicamentos.

**Figura 70.**

## Gráfico Consolidado de la Respuesta N°3

Pregunta N° 2. Sabía usted: ¿Qué a nivel mundial los países productores de magnesio son mostrados en orden decreciente? China, Malasia, EEUU, Israel, Kazajistán, Rusia, Brasil.



**Nota:** Los Tecnologías del Magnesio aplicadas más cercana a nivel Nacional: Agricultura (49.5%), Medicamentos (27.7%), Tecnologías Automotriz (15.8%) y Computadoras (5.9%).

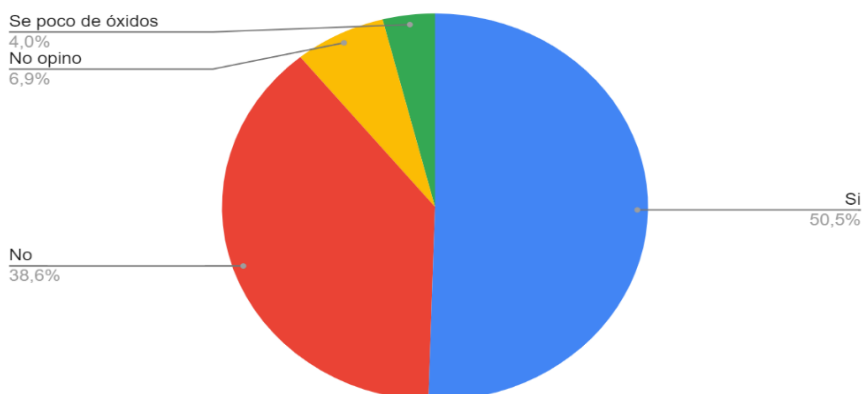
4.- Sabía usted, ¿Qué el óxido de magnesio es empleado con bastante éxito en la remediación de gases sulfurosos, efluentes metalúrgicos, remediadores de suelos?

- a) Si
- b) No
- c) No opino
- d) Se poco de óxidos

**Figura 71.**

## Gráfico Consolidado de la Respuesta N°4

Pregunta N°04 Sabía usted, ¿Qué el óxido de magnesio es empleado con bastante éxito en la remediación de gases sulf...





**Nota:** El Óxido de Magnesio es empleado en la Remediación de gases sulfurados: Si (50.5%), No (38.6%), No Opina (6.9%) y saben poco de Óxidos (4.0%).

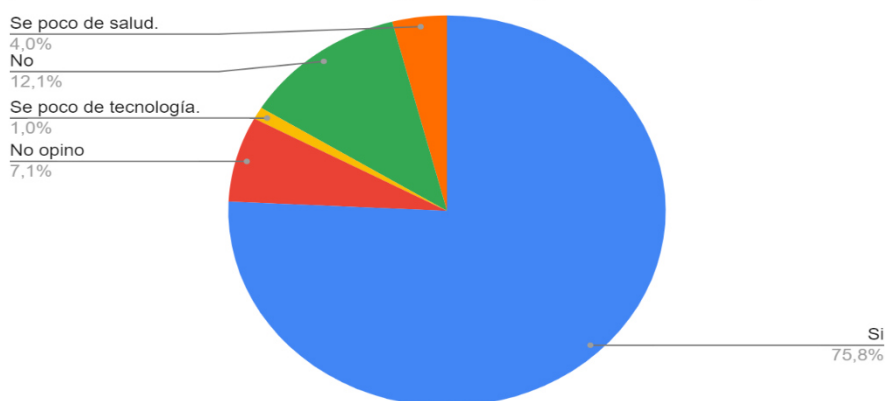
5.- Sabía usted, ¿Qué en salud pública los productos derivados del magnesio mejoran la calidad y cantidad de vida de las poblaciones?

- a) Si
- b) No
- c) No opino
- d) Se poco de salud.
- e) Se poco de tecnología.

### Figura 72.

Gráfico Consolidado de la Respuesta N°5

Pregunta N°05. Sabía usted, ¿Qué en salud pública los productos derivados del magnesio mejoran la calidad y canti...



**Nota:** los productos derivados del magnesio mejoran la calidad y cantidad de vida de las poblaciones: Si (75.8%), No Opina (7.1%), No (12.1%), Se poco de Salud (4.0%), Se poco de Tecnología (1.0%).

6.- Es importante el interés en la industria mundial por el magnesio y sus aleaciones a tal punto que es considerado como un material para la producción de máquinas y equipos, por sus buenas propiedades físicas, mecánicas y electroquímicas. ¿A nivel nacional también debe ser de interés tecnológico? Marcar su opinión:

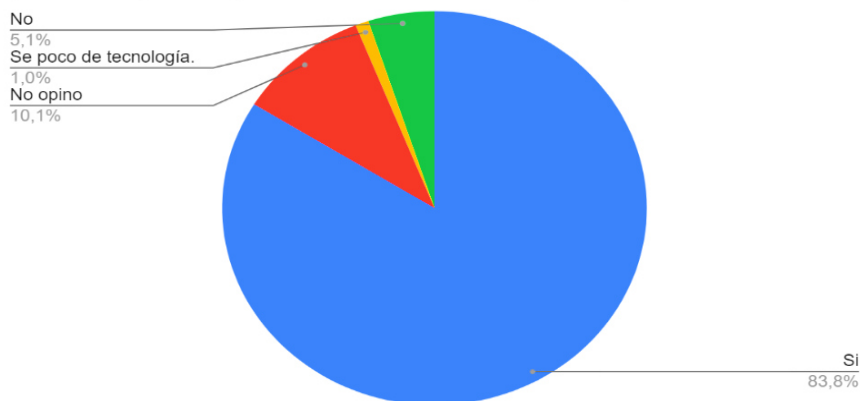
- a) Si
- b) No
- c) No opino

d) Se poco de tecnología.

**Figura 73.**

Gráfico Consolidado de la Respuesta N°6

Pregunta N°06. Es importante el interés en la industria mundial por el magnesio y sus aleaciones a tal punto que es consider...



**Nota:** El interés por la Tecnología del Magnesio y sus Aleaciones debe ser tomado en cuenta a nivel nacional: Si (83.8%), No Opina (10.1%), No (5.1%), Se poco de Tecnología (1.0%).

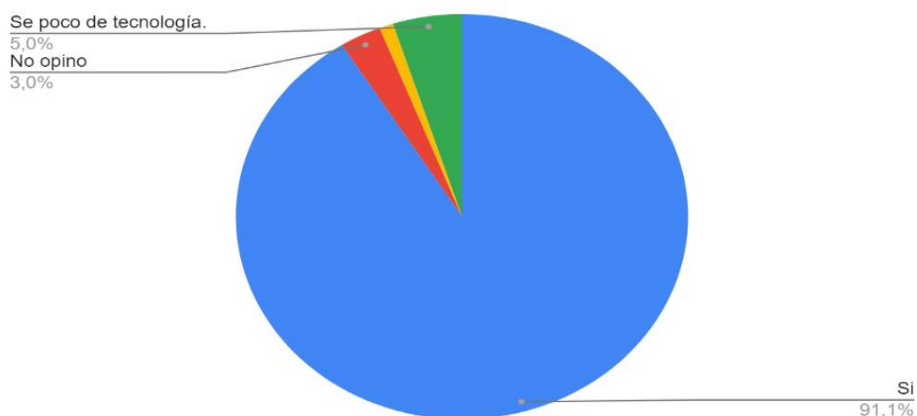
7.- El óxido de magnesio pertenece al campo técnico de la preparación de nanomateriales, nanoestructuras y se viene desarrollando investigaciones a nivel internacional. ¿Cree que es importante incursionar a nivel tecnológico en las nanoestructuras?

- a) Si
- b) No
- c) No opino
- d) Se poco de tecnología

**Figura 74.**

Gráfico Consolidado de la Respuesta N°7

Pregunta N°07. El óxido de magnesio pertenece al campo técnico de la preparación de nanomateriales, nanoestructura...



**Nota:** Es importante incursionar a nivel tecnológico en las nanoestructuras: Si (91.1%), No Opina (3.0%), Se poco de Tecnología (5.0%).

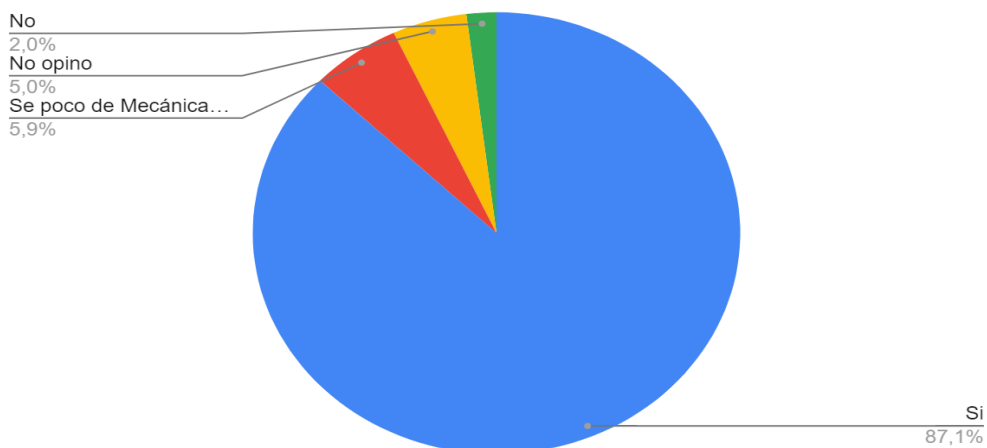
8.- El costo de magnesio siempre ha oscilado en los últimos años y el magnesio y sus aleaciones se han convertido en atractivos materiales estructurales para una amplia gama de aplicaciones, debido en parte a las propiedades físicas deseables, tales como peso ligero, de alta rigidez y resistencia específica, la maquinabilidad, y la capacidad para ser fácilmente reciclados. ¿Cree usted en la importancia, que la industria nacional pueda tomar en cuenta al magnesio y a sus aleaciones?

- a) Si
- b) No
- c) No opino
- d) Se poco de Mecánica y Manufactura.

### Figura 75.

Gráfico Consolidado de la Respuesta N°8

Pregunta 8. El costo de magnesio siempre ha oscilado en los últimos años y el magnesio y sus aleaciones se han convirti...



**Nota:** Es importante, que la industria nacional pueda tomar en cuenta al magnesio y a sus aleaciones: Si (87.1%), Se poco de Mecánica y Manufactura (5.9%), No Opina (5.0%) y No (2.0%).

9.- La materia prima para la producción del magnesio es abundante, y el magnesio es el quinto de los metales en abundancia en la tierra, después del silicio, aluminio, hierro y calcio.

El magnesio constituye el 2.24% de la corteza terrestre. ¿Cree usted, que se dispone de suficiente magnesio en el aprovechamiento de la humanidad para mejorar su calidad de vida?

- a) Si
- b) No
- c) No opino
- d) Se poco de metales

**Figura 76.**

Gráfico Consolidado de la Respuesta N°9



**Nota:** Se dispone de suficiente Magnesio en el aprovechamiento de la humanidad para mejorar su calidad de vida: Si (66.0%), No (20.0%), No Opina (12.0%), Se poco de Metales (2.0%).

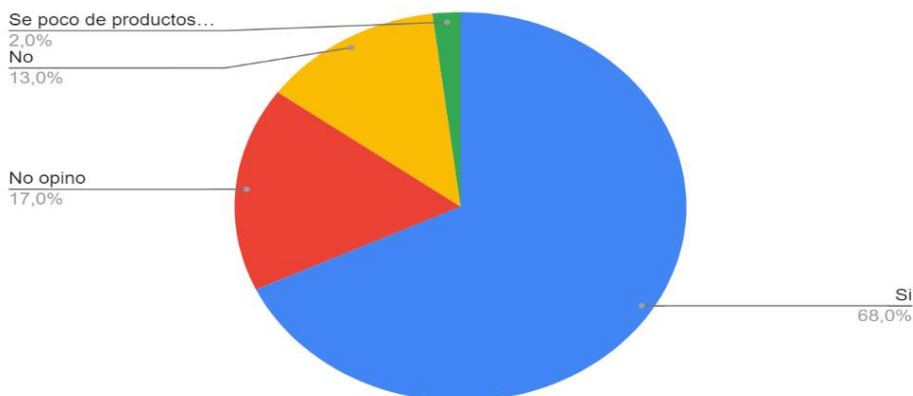
10.- Las sales de magnesio más notables son: el cloruro, el doble cloruro y el sulfato, encontrándose en los lechos salinos y son los constituyentes de los cuerpos salinos, los lagos salados y los océanos. ¿Es aprovechable esta fuente marina de provisión de magnesio para la humanidad?

- a) Si
- b) No
- c) No opino
- d) Se poco de productos químicos.

**Figura 77.**

Gráfico Consolidado de la Respuesta N°10

Pregunta N°10. Las sales de magnesio más notables son: el cloruro, el doble cloruro y el sulfato, encontrándose en los le...



**Nota:** La Fuente Marina beneficia del Magnesio a la Humanidad: Si (68.0%), No Opina (17.0%), No (13.0%), Se poco de productos químicos (2.0%).

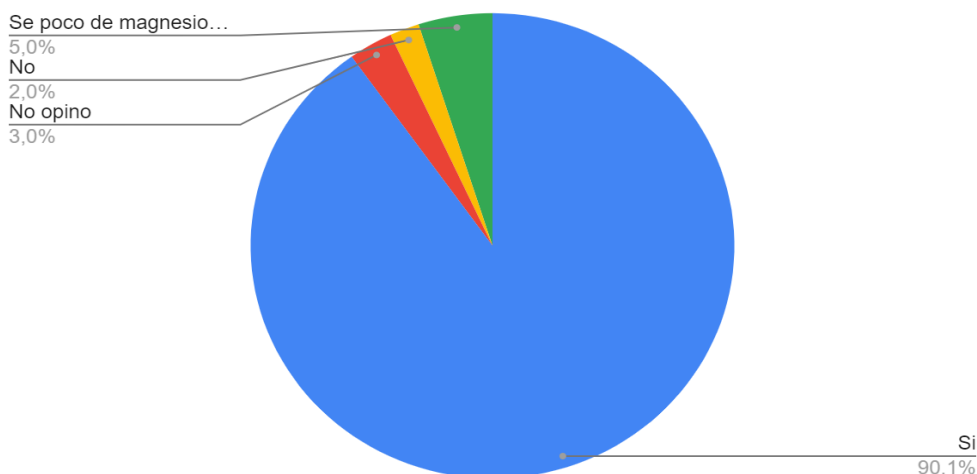
11.- En cuanto a la tecnología industrial empleada actualmente para el metal magnesio se destaca: la fusión del Magnesio y Aluminio, adelantos recientes en la electrólisis de sales fundidas, nucleación electroquímica del Magnesio en un cátodo de acero, proceso continuo de producción Electrolítica del Magnesio, proceso de Tratamiento de Magnesio de alta Pureza, producción del Magnesio desde minerales que contienen Magnesio. ¿Cree importante incursionar a nivel tecnológico nacional en la producción de magnesio metálico?

- Si
- No
- No opino
- Se poco de magnesio metálico.

**Figura 78.**

Gráfico Consolidado de la Respuesta N°11

Pregunta N°11. En cuanto a la tecnología industrial empleada actualmente para el metal magnesio se destaca: la fusión del...



**Nota:** Es importante incursionar a nivel tecnológico nacional en la producción de Magnesio metálico: Si (90.1%), No Opina (3.0%), No (2.0%), Se poco de Magnesio Metálico (5.0%).

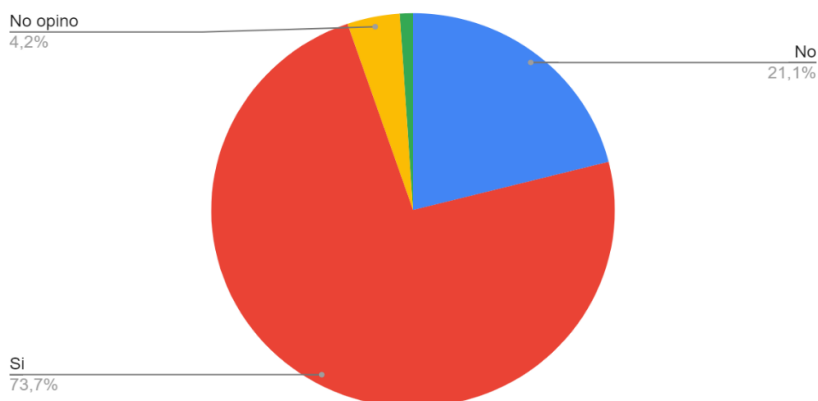
12.- Se comercializa a nivel internacional: Aleaciones de Litio y Magnesio, aleación Mg - Li- Al- Zr; las nuevas aleaciones amorfas Mg-Ce-Ni con alta resistencia y buena ductilidad la influencia de la adición de Escandio y Magnesio en la estructura y propiedades de la aleación Al-Li-Cu-Zr. ¿Cree importante incursionar a nivel tecnológico nacional en la producción de aleaciones de magnesio?

- a) Si
- b) No
- c) No opino
- d) Se poco de aleaciones de magnesio.

**Figura 79.**

Gráfico Consolidado de la Respuesta N°12

Pregunta N° 12. Se comercializa a nivel internacional:  
Aleaciones de Litio y Magnesio, aleación Mg - Li- Al, Zr; las n...



**Nota:** Es importante incursionar a nivel tecnológico nacional en la producción de Aleaciones de Magnesio Metálico: Si (73.7%), No (21.1%), No Opina (4.2%).

13.- Las materias primas primarias (Calizas Dolomíticas, Magnesita, Salmueras, Agua de Mar) o secundaria de compuestos de Magnesio (Oxido de Magnesio, Oxido de Calcio,  $MgCl_2$ ) son de importancia a nivel industrial para obtener el magnesio y sus compuestos. ¿Sabía que a nivel nacional se cuentan con estas materias primas para hacer posible la industrialización del Magnesio?

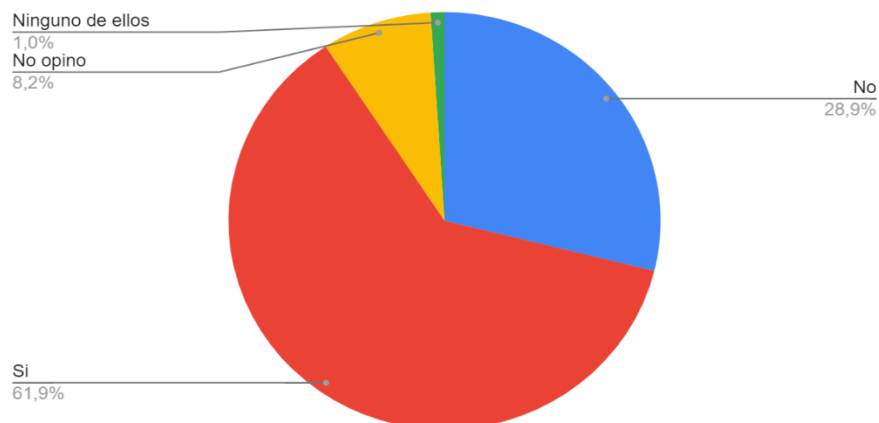
- a) Si
- b) No
- c) No opino

d) Ninguno de ellos

**Figura 80.**

Gráfico Consolidado de la Respuesta N°13

Pregunta N°13 Las materias primas primarias (Calizas Dolomíticas, Magnesita, Salmueras, Agua de Mar) o secund...



**Nota:** A nivel nacional se cuentan con materias primas para hacer posible la industrialización del Magnesio: Si (61.9%), No (28.9%), No Opina (8.2%), Ninguno de ellos (1.0%).

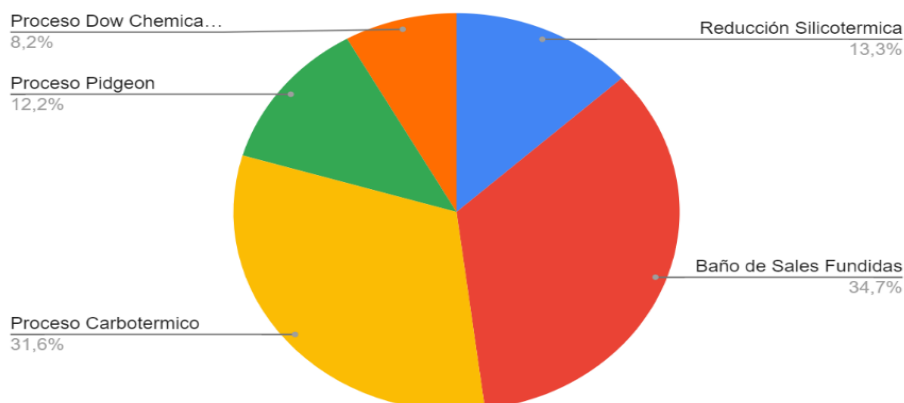
14.- Las tecnologías industriales que se conocen para la obtención de compuestos del Magnesio se muestran. ¿Marcar cuál de ellas conoce?

- a) Reducción Silicotermica
- b) Baño de Sales Fundidas
- c) Proceso Dow Chemical Co
- d) Proceso Carbotermico
- e) Proceso Pidgeon.

**Figura 81.**

Gráfico Consolidado de la Respuesta N°14

Recuento de 14. Las tecnologías industriales que se conocen para la obtención de compuestos del Magnesio se muestran....



**Nota:** Las tecnologías industriales que se conocen para la obtención de compuestos del Magnesio se muestran: Baño de Sales Fundidas (34.7%), Proceso Carbotermico (31.6%), Reducción Silicotermica (13.3%), Proceso Dow Proceso Pidgeon (12.2 %), Chemical Co (8.2%),

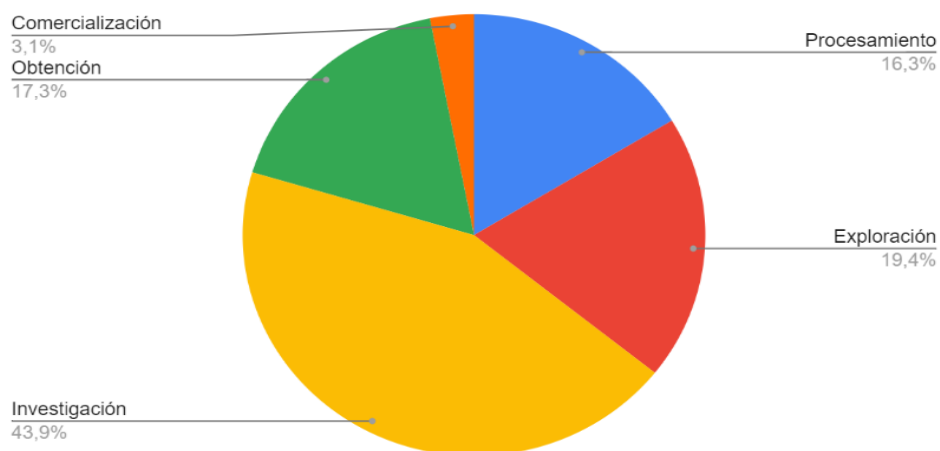
15.- ¿Podrían marcar la experiencia profesional personal que poseen en relación con los procesos que se dan durante el ciclo de vida de la obtención del magnesio, sus compuestos y aleaciones?

- a) exploración
- b) procesamiento
- c) obtención
- d) investigación
- e) comercialización

**Figura 82.**

Gráfico Consolidado de la Respuesta N°15

Pregunta N°15 ¿Podrían marcar la experiencia profesional personal que poseen en relación a los procesos que se dan...



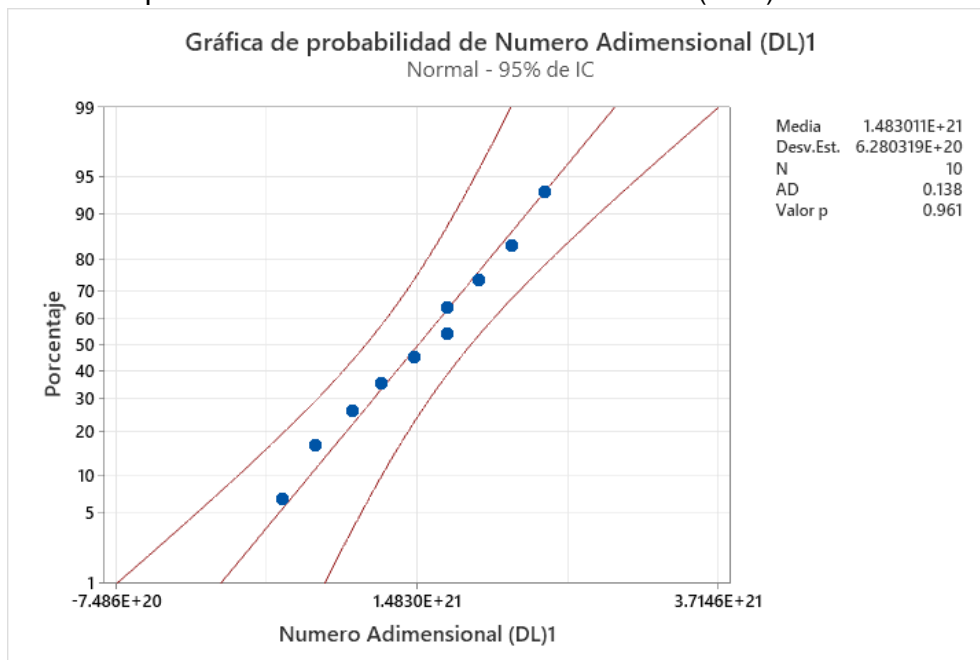
**Nota:** Experiencia profesional personal con relación a los procesos que se dan durante el ciclo de vida de la obtención del magnesio, sus compuestos y aleaciones: Investigación (43.9%), Obtención (17.3%), Exploración (19.4%), Procesamiento (16.3%), Comercialización (3.1%).



## 4.0 ANALISIS ESTADISTICO CON MINITAB

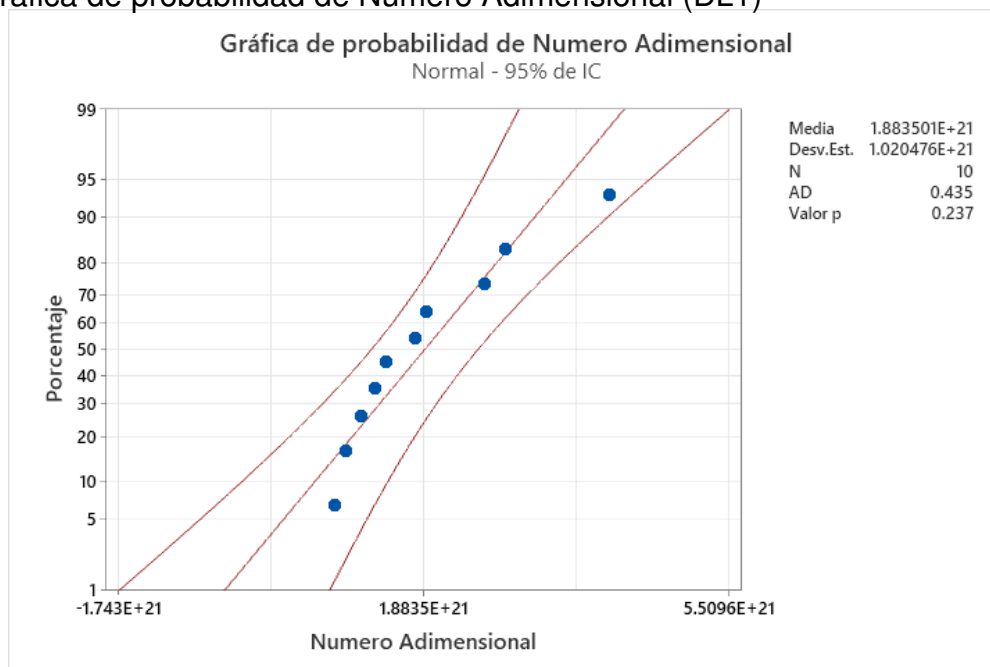
**Figura 83.**

Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL1)



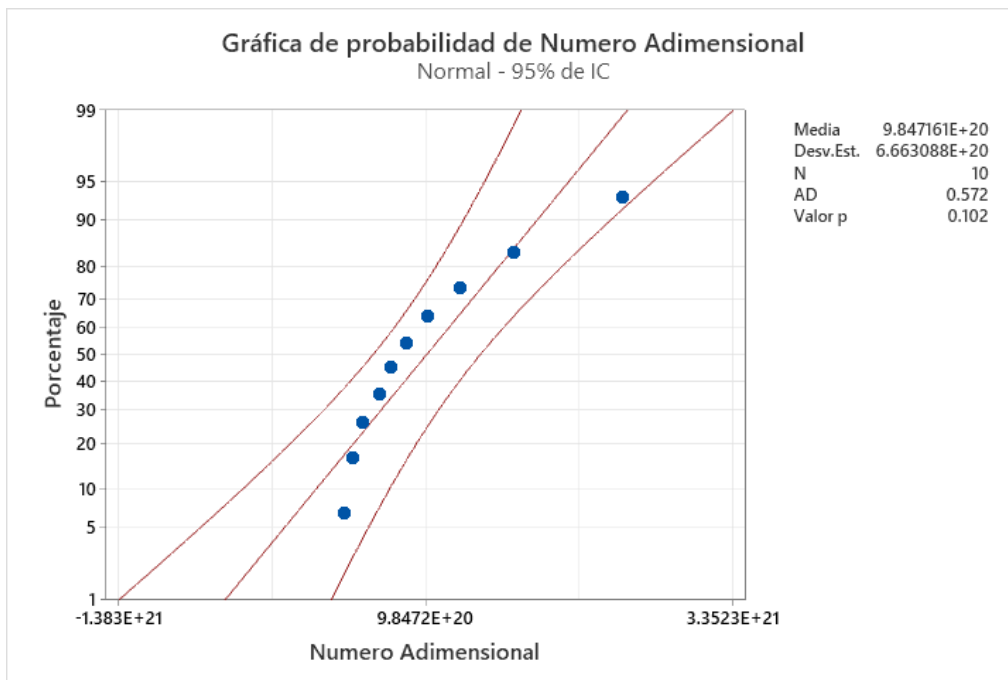
**Figura 84.**

Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL1)

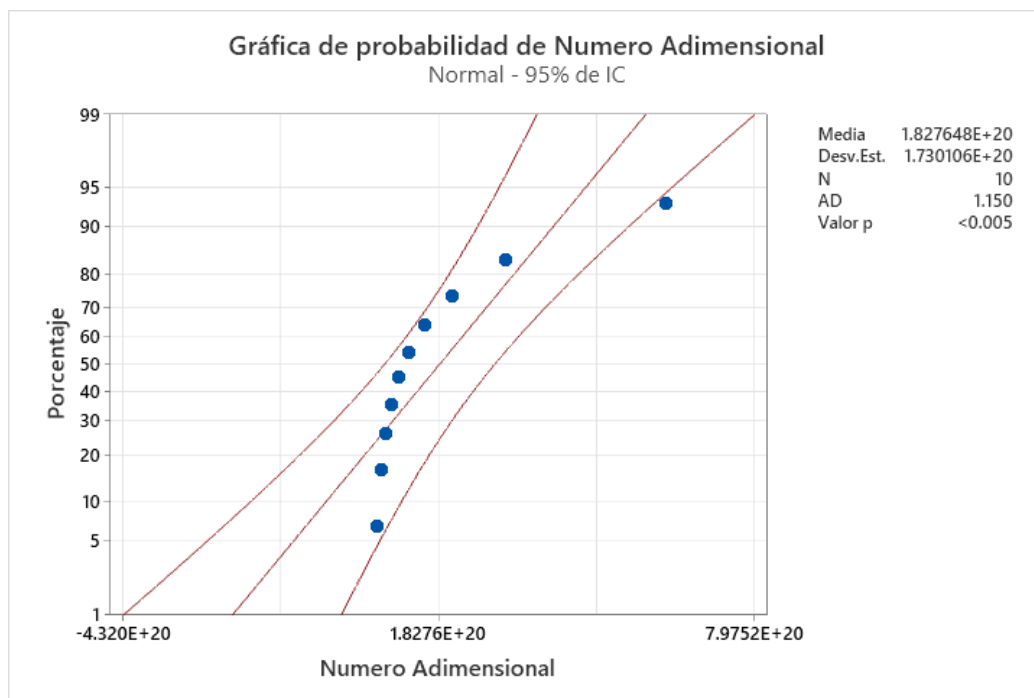


**Figura 85.**

Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL1)

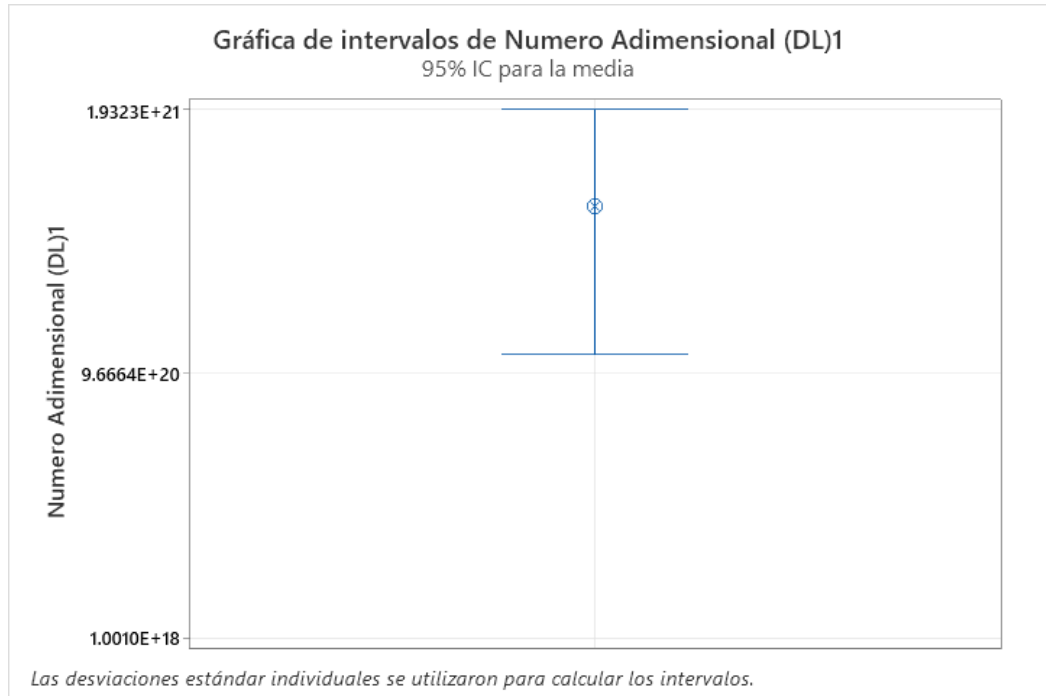
**Figura 86.**

Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL1)



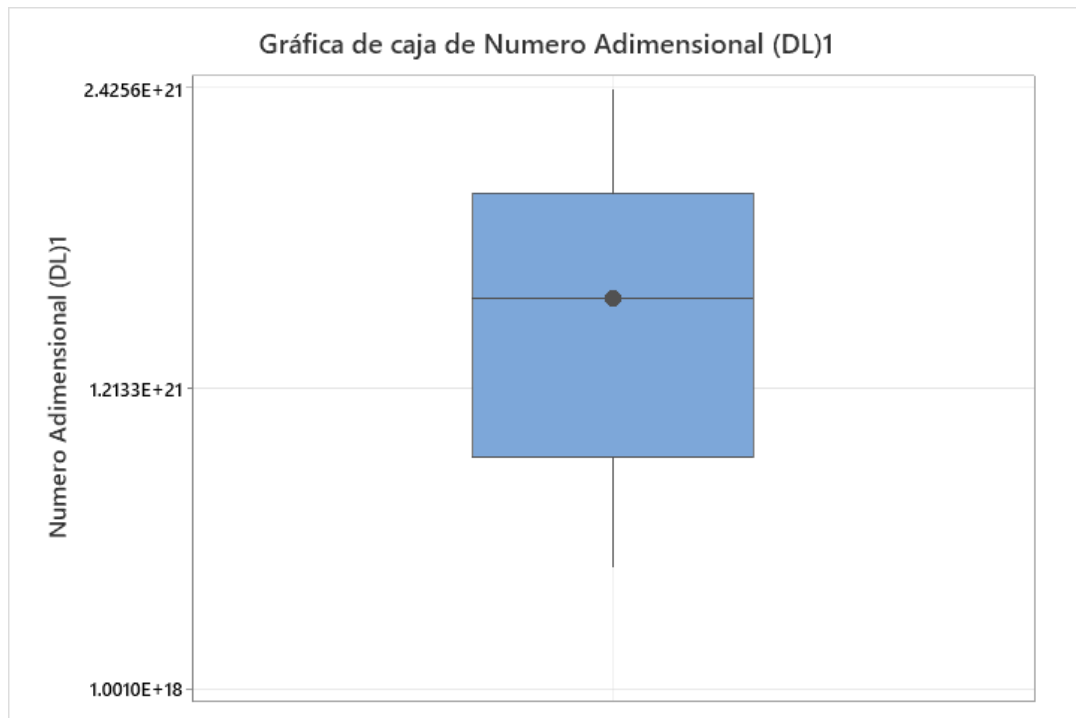
**Figura 87.**

Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL<sub>1</sub>)



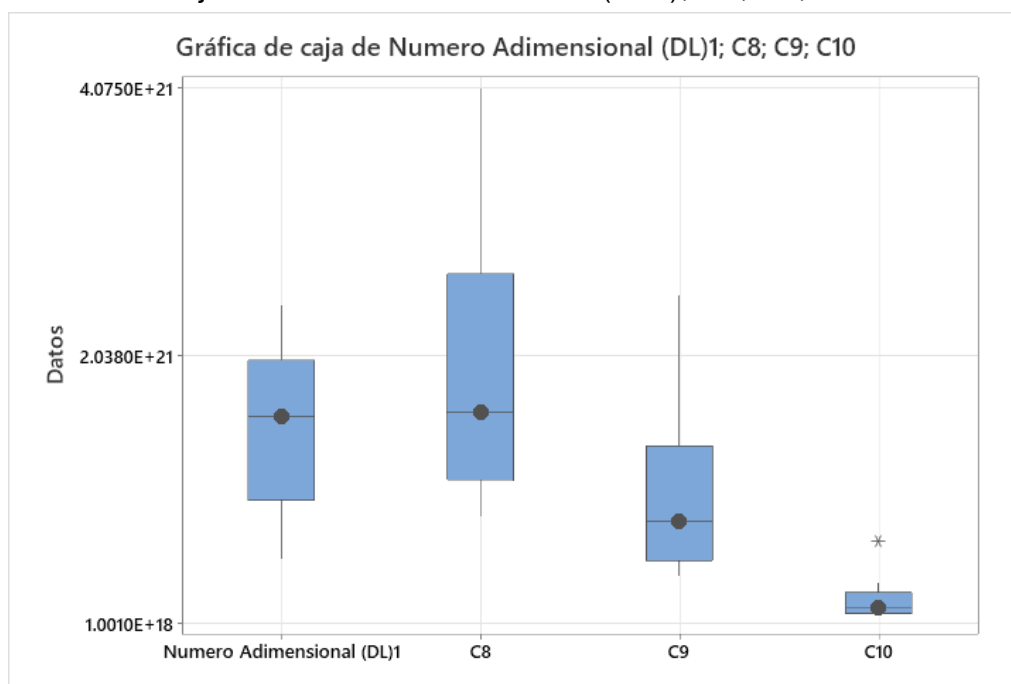
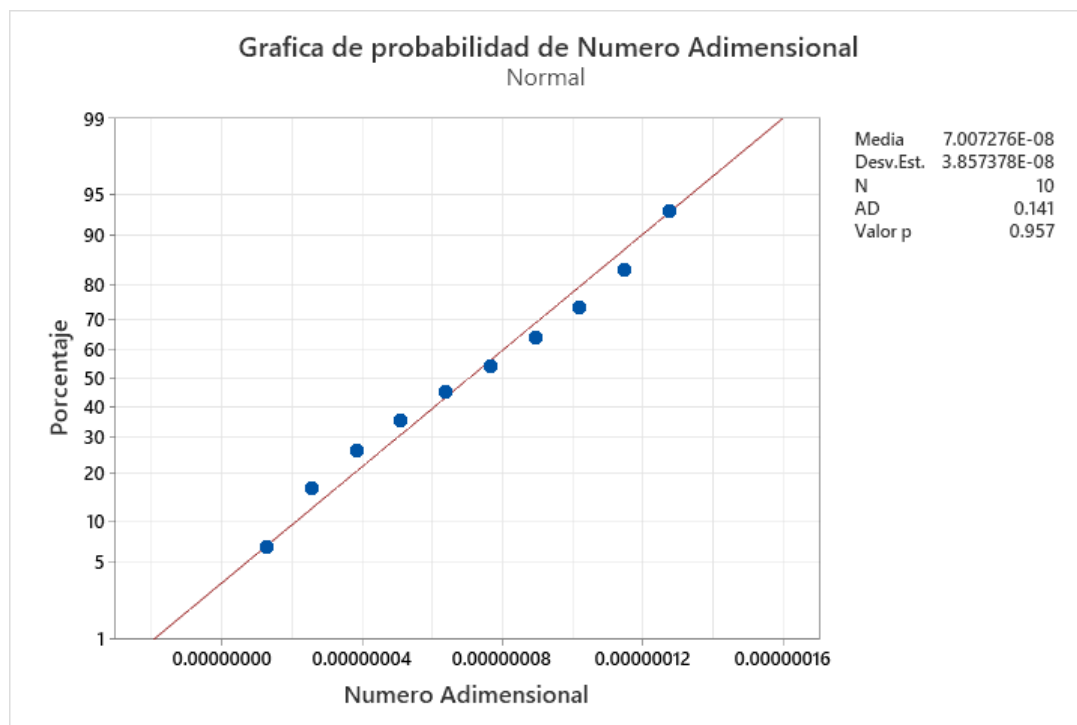
**Figura 88.**

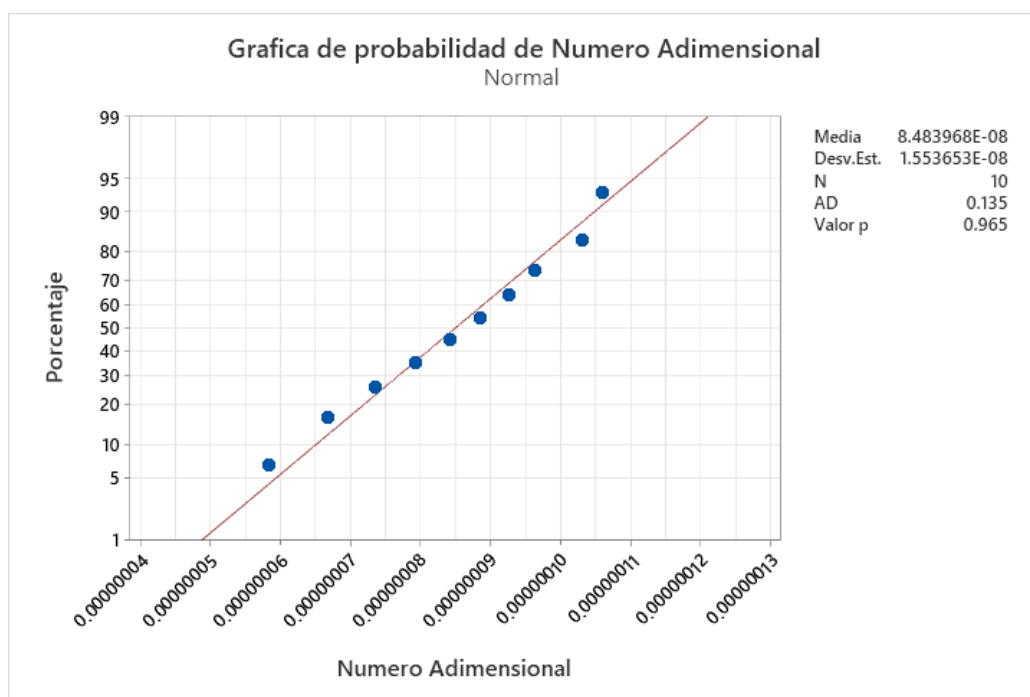
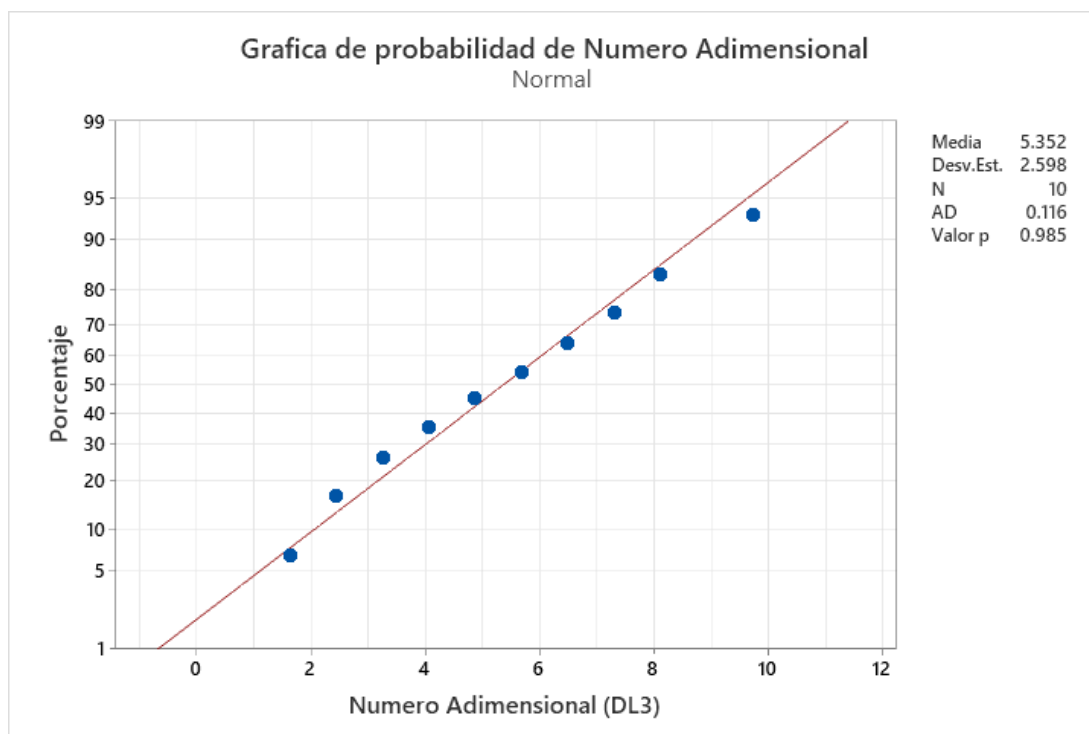
Gráfica de caja de Numero Adimensional (DL<sub>1</sub>); C8; C9; C10

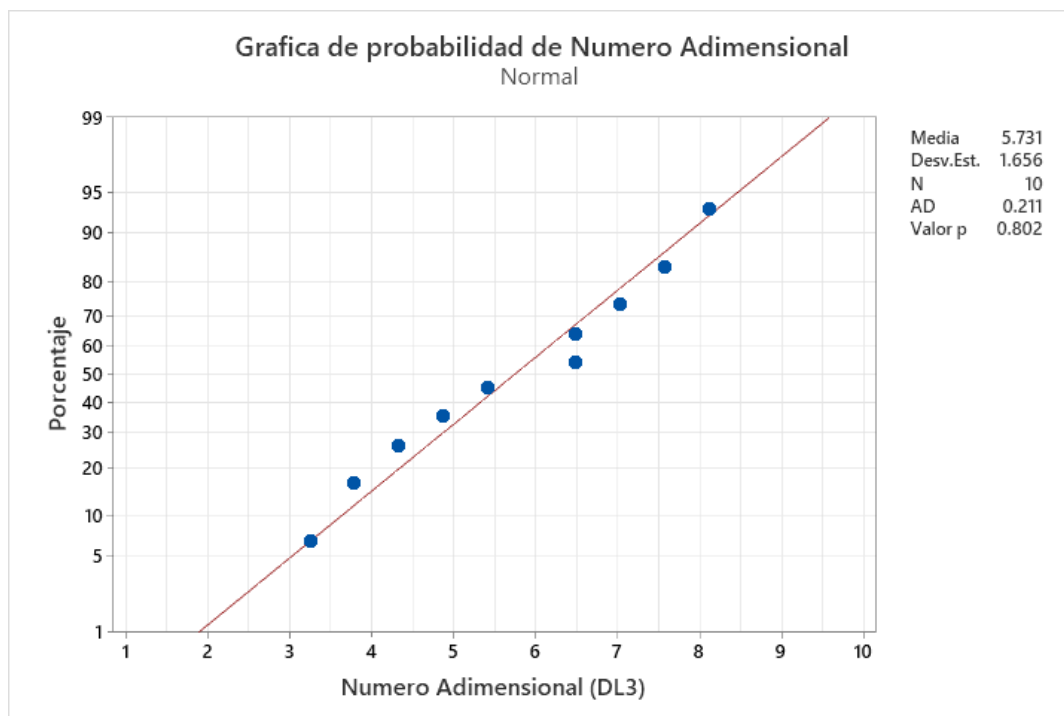
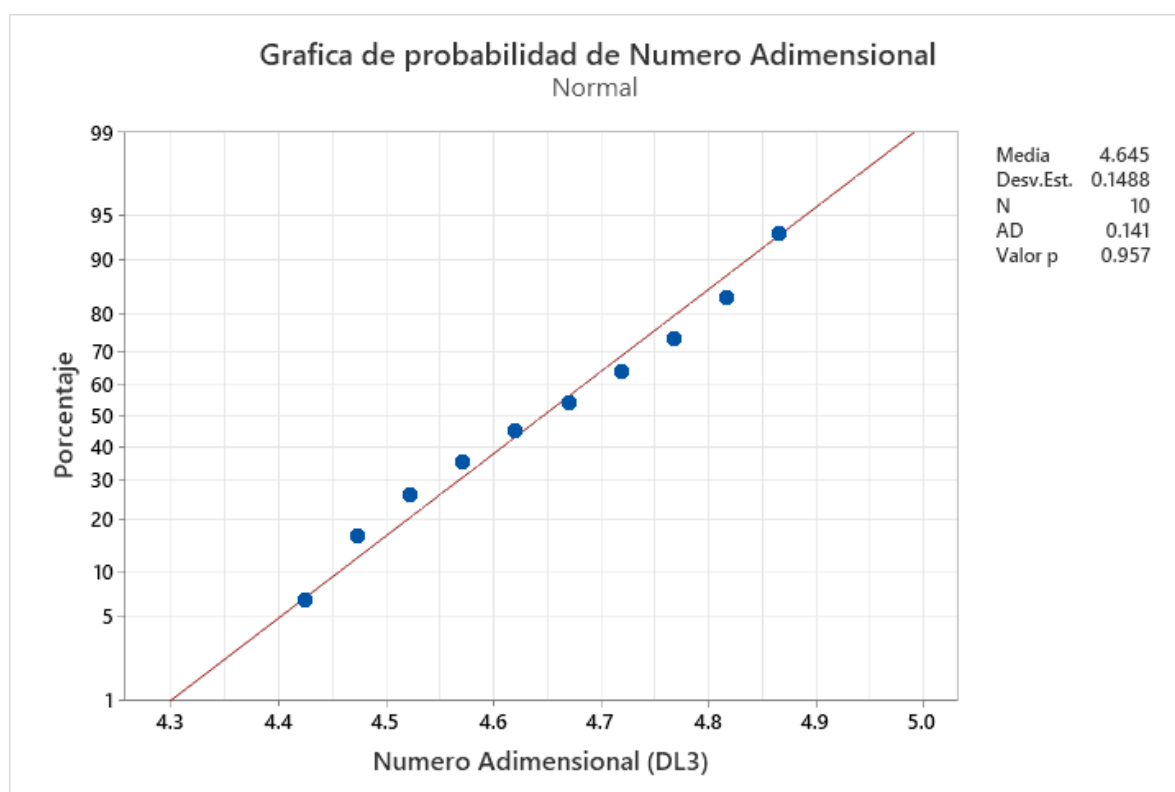


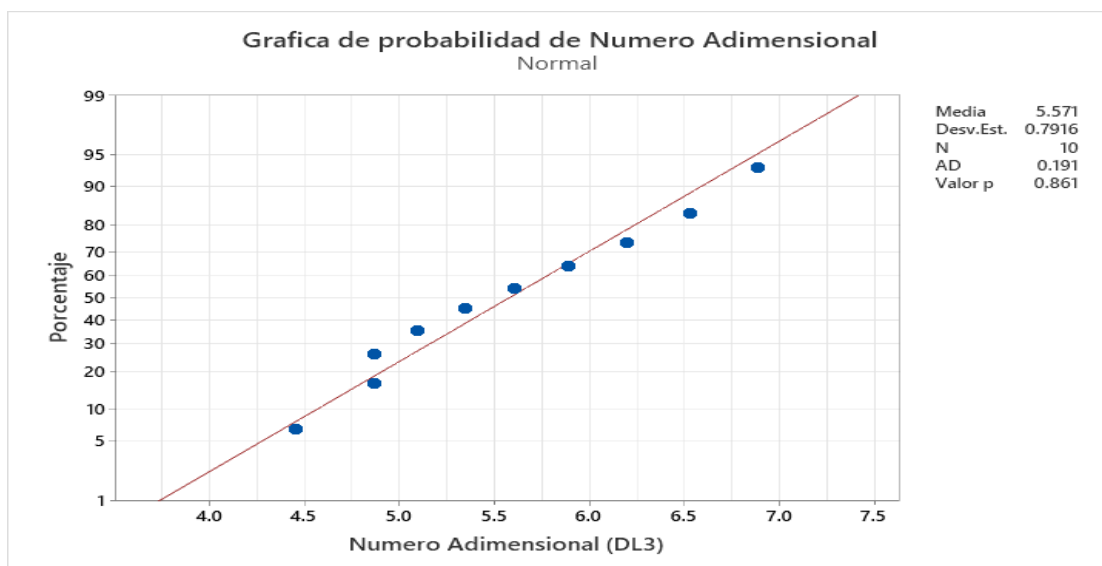
**Figura 89.**

Gráfica de caja de Numero Adimensional (DL1); C8; C9; C10

**Figura 90.**Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL<sub>2</sub>)

**Figura 91.**Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL<sub>2</sub>)**Figura 92.**Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL<sub>3</sub>)

**Figura 93.**Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL<sub>3</sub>)**Figura 94.**Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL<sub>3</sub>)

**Figura 95.**Gráfica de probabilidad de Numero Adimensional (DL<sub>3</sub>)

## 5.0 Especificaciones técnicas del Magnesio Metálico

**Cuadro 16.**

Especificaciones técnicas del Magnesio Metálico

Elemento	Magnesio
Número atómico	12
Categoría de elemento	Metal alcalinotérreo
Fase en STP	Sólido
Densidad	1,738 g / cm <sup>3</sup>
Resistencia a la tracción	200 MPa
Límite de elasticidad	N / A
Módulo de Young	45 GPa
Escala de Mohs	2,5
Dureza Brinell	260 MPa
Dureza Vickers	N / A
Punto de fusión	649 ° C
Punto de ebullición	1090 ° C
Conductividad térmica	156 W / mK
Coefficiente de expansión térmica	24,8 µm / mK
Calor específico	1,02 J / g K
Calor de fusión	8,954 kJ / mol
Calor de vaporización	127,4 kJ / mol
Resistividad eléctrica [medidor de nanoOhmios]	43,9
Susceptibilidad magnética	+ 13,1e-6 cm <sup>3</sup> / mol

**Nota.** <https://material-properties.org/es/magnesio-propiedades-precio-aplicaciones-produccion/>

Figura 96.

Numero Adimensional del Magnesio (NAMg)

**NUMERO ADIMENSIONAL DEL MAGNESIO (NAMg)**

COMPOSICIONES NOMINALES

$$NAMg = \frac{(\%Mg * \%Al * \%Zn) * (\% Alargamiento) * (Esfuerzo Cortante)^4}{(Fuerza de Tension) * (Tension) * (Compresion) * (Aguante)}$$

FLUENCIA (LIMITE ELASTICO)

dloverad@unmsm.edu.pe

Cuadro 17.

Numero Adimensional del Magnesio para simular las Propiedades Mecánicas de las Aleaciones del Magnesio

Numero Adimensional del Magnesio para simular las Propiedades Mecánicas de las Aleaciones del Magnesio

Aleacion	Composicion %			Fluencia							Numero del Magnesio
	Mg	Al	Zn	Fuerza de Tension Mpa	Tension Mpa	Compresion Mpa	Aguante Mpa	Alargamiento %	Esfuerzo Cortante Mpa	Dureza HR	
Sand and permanent Molde Castings											
AZ63A-T6	90.85	6	3	275	130	130	360	5	145	73	2160
AZ81A-T4	91.57	7.6	0.7	275	83	83	395	15	125	55	3088
AZ91(Cand E-T6(j))	90.47	8.7	0.7	275	145	145	360	6	145	66	702
AZ92A-T6	88.9	9	2	275	150	150	450	3	150	84	873
Sheet and plate											
AZ31B-H24	95	4	1	280	220	180	325	15	180	73	1001
ZM21-0	95	3	1	240	120	180	300	11	150	65	1011
ZM21-H24	91.4	5	1.6	250	165	180	300	6	150	60	1019
Extruded Bars and Shapes											
AZ10A-F	98.2	1.2	0.4	240	145	69	230	10	150	50	432
AZ13(BandC-F(t))	95.8	3	1	255	200	97	230	12	130	49	866
AZ61A-F	92.35	6.5	0.5	305	205	130	285	16	140	60	796
AZ80A-T5	90.7	8.5	0.6	360	275	240	180	7	165	80	532
M1A-F	97.5	1.5	1	255	180	83	195	12	125	44	577
ZK60A-T5	93.3	1.2	5.5	350	285	250	495	11	180	82	704
DIE CASTING											
AE42-F	95.8	4	0.1	230	145	145	350	11	150	60	126
AM20-F	97.7	2.1	0.1	210	90	90	350	20	130	45	197
AM50A-F	94.74	4.9	0.1	230	125	125	350	15	150	60	280
AM60(Band B-F(e))	93.77	6	0.1	240	130	130	350	13	150	65	264
AS41A-F(f)	95.5	4.2	0.1	240	140	140	350	15	150	60	185
AZ91A,B,AndD-F(g)	90.77	9	0.1	250	160	160	350	7	150	140	129

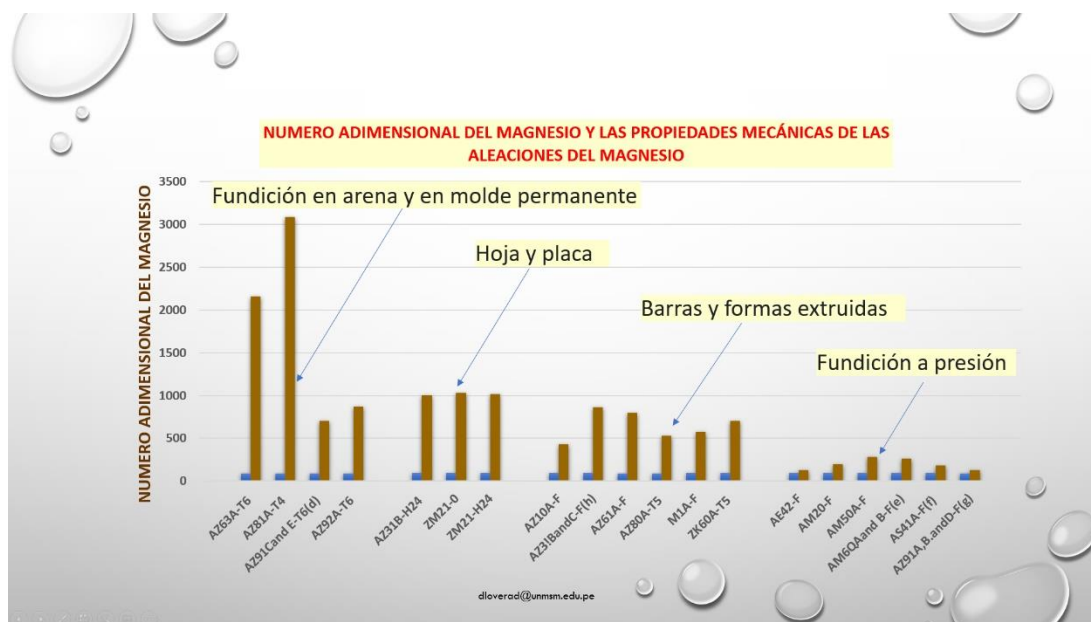
Nota: ASM International

dloverad@unmsm.edu.pe



Figura 97.

Numero Adimensional del Magnesio y las propiedades mecánicas de las Aleaciones del Magnesio



Cuadro 18.

Estudio Mineralógico por Microscopia Electrónica

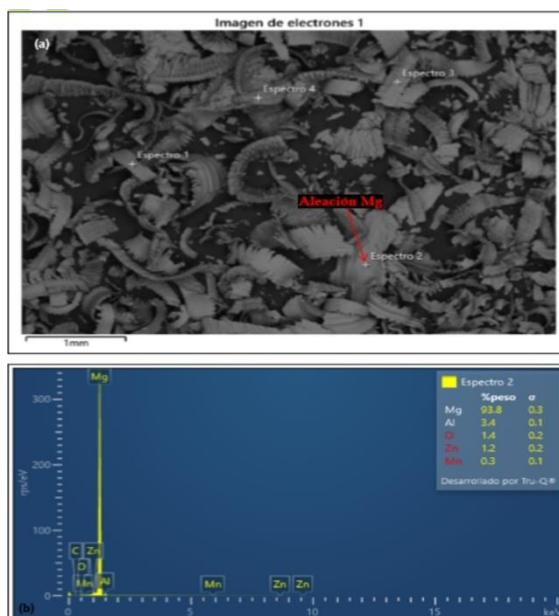
Estudio Mineralógico por Microscopia Electrónica.

ESPECTRO	MINERAL	Composicion Quimica (%)													Total		
		O	Si	Al	Fe	Ca	K	P	S	Mg	Ti	Zn	Cl	Pb		Cu	Mn
1	AZ31B	0.5		2.2						95.9		1.4					100.0
2	Aleacion Mg	1.4		3.4						93.8		1.2				0.3	100.1
3	AZ31B			2.3						96.4		1.3					100.0
4	Aleacion Mg	6.9		2.2	0.4		1.7		0.6	84.8		3.1				0.4	100.1
5	Aleacion Mn-Al-Mg	1.2		26.3						19.3		0.4				52.8	100.0
6	Aleacion Mg	11.9		3.8	0.3		1.1		1.4	80.4		1.1					100.0
7	Aleacion Mg	0.7		3.9						93.9		1.5					100.0
12	AZ31B	1.1		2.3						95.5		0.8				0.3	100.0
13	AZ31B	1.5		1.9						95.1		1.4					99.9
14	Aleacion Mg	0.6								98.7		0.6					99.9
16	Aleacion Mg	1.1		3		0.7				94.4		0.8					100.0
17	AZ31B	1.7		2.7						94.6		0.8				0.3	100.1
18	Aleacion Mn-Al	4	0.2	29.5	1.3		0.3			13.8						50.9	100.0
19	Aleacion Mg	1.3		9.4						84.2		5.2					100.1
24	Aleacion Fe	6.8		0.7	81.1					11						0.4	100.0
25	Aleacion Fe			1.5	89.8				0.3	7.7						0.8	100.1
		O	Si	Al	Fe	Ca	K	Br	S	Mg	Ti	Zn	Cl	Pb	Cu	Mn	

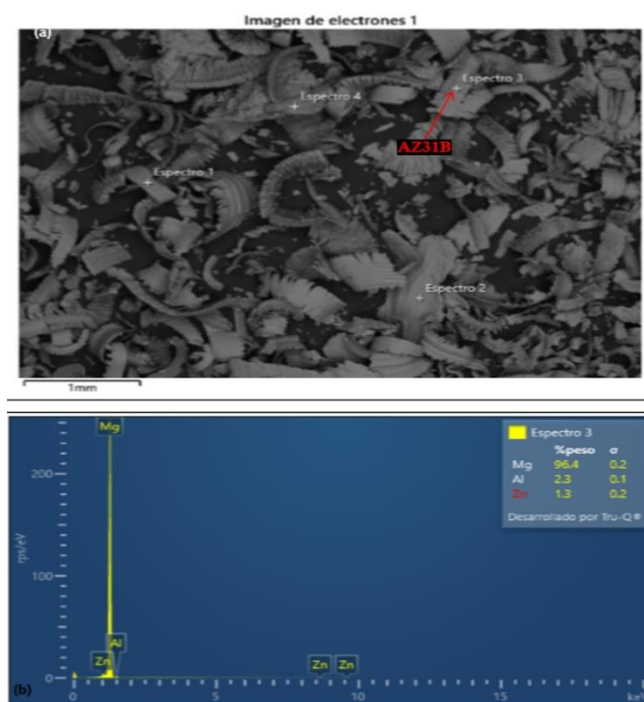


**Figura 99.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (Aleación Mg) con valores de aluminio (Al). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Zinc (Zn), Oxígeno (O) y Manganeso (Mn).

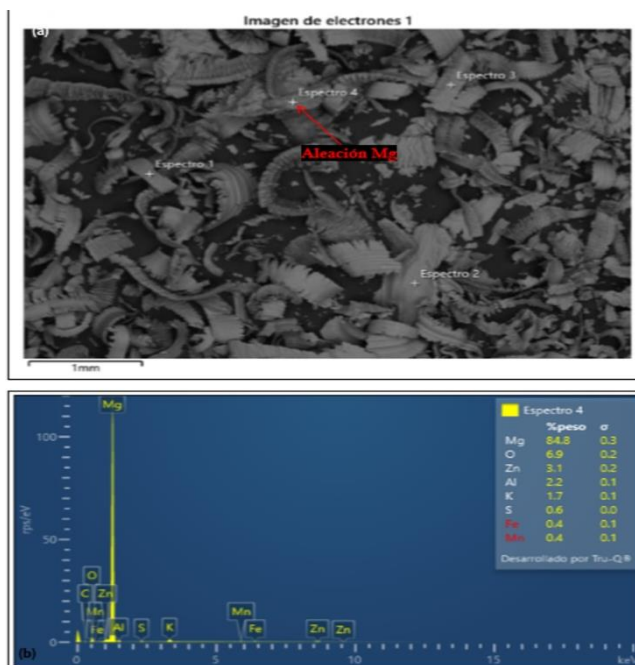
**Figura 100.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (AZ31B) con valores de aluminio (Al) y Zinc (Zn). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Zinc (Zn).

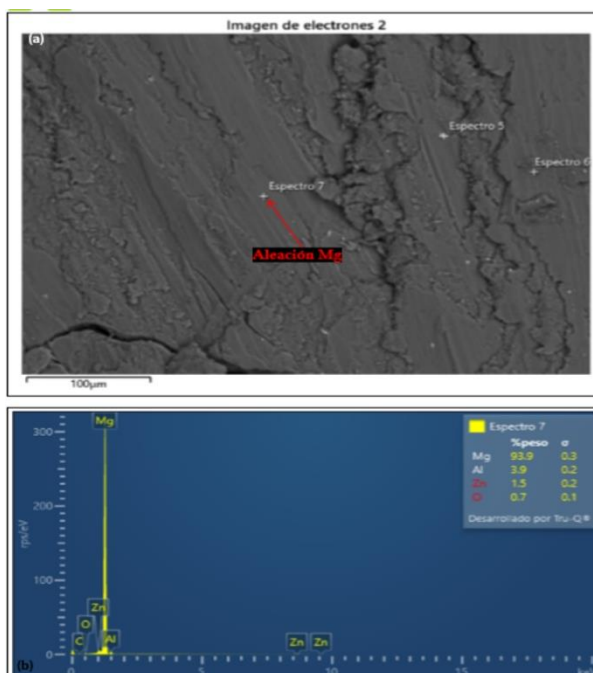


**Figura 101.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio con valores de aluminio (Al), zinc (Zn), hierro (Fe) y manganeso (Mn). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Zinc (Zn), Oxígeno (O), Potasio (K), Azufre (S), Hierro (Fe) y Manganeso (Mn).

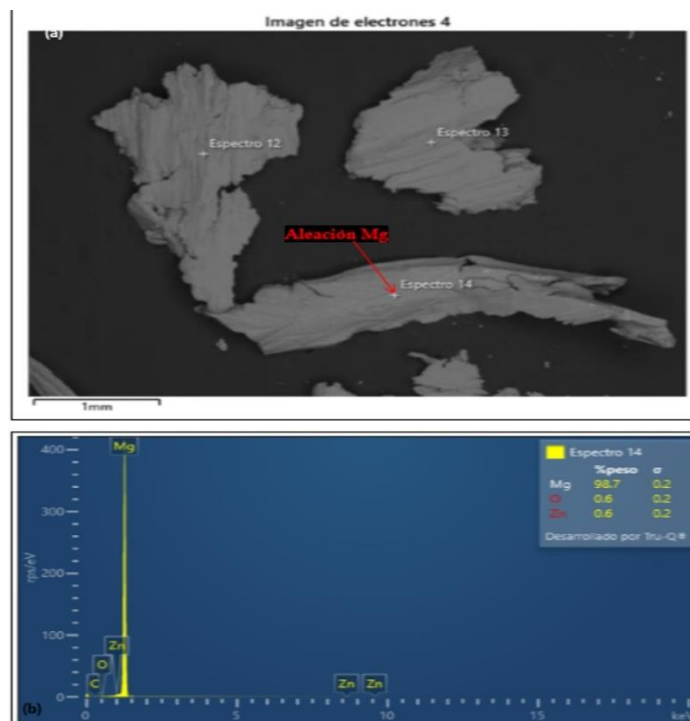
**Figura 102.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (Aleación Mg). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Zinc (Zn) y Oxígeno (O).

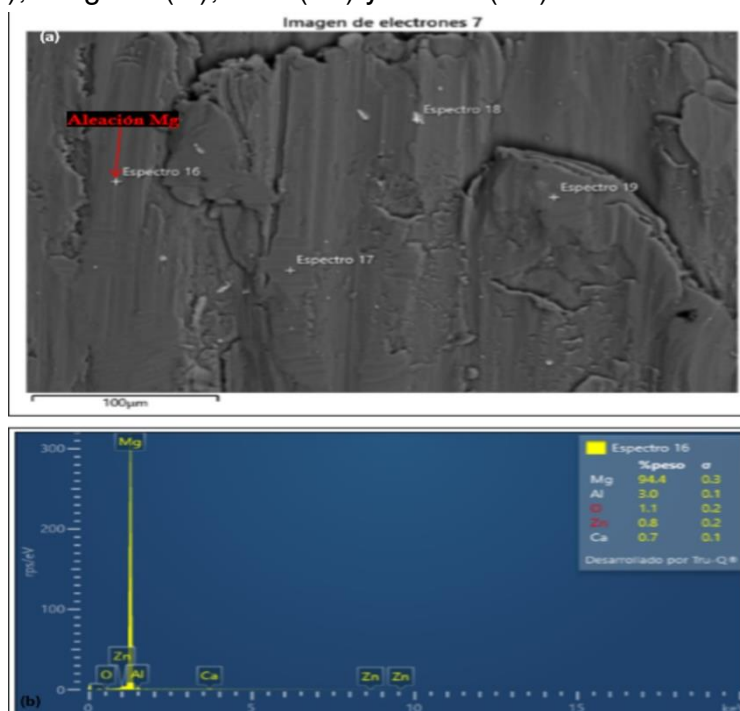


**Figura 103.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (aleación Mg). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Oxígeno (O) y Zinc (Zn).

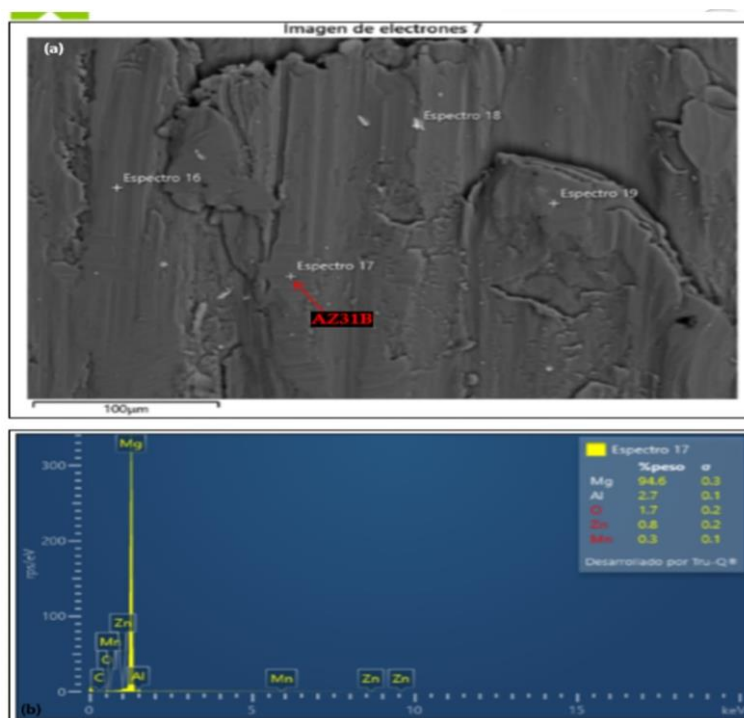
**Figura 104.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (aleación Mg). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Oxígeno (O), Zinc (Zn) y Calcio (Ca).



**Figura 105.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (AZ31B). Presenta valores de zinc (Zn) y manganeso (Mn). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Oxígeno (O), Zinc (Zn) y Manganeso (Mn).

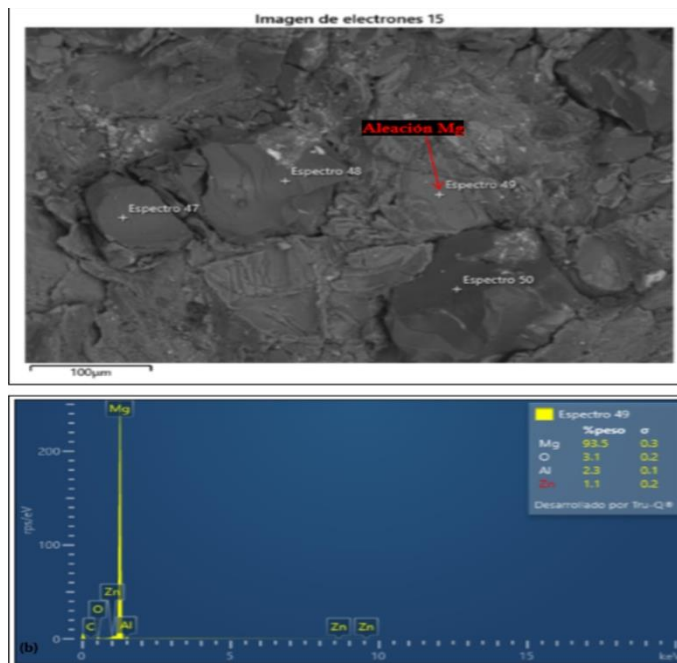
**Cuadro 19.**

Aleaciones.

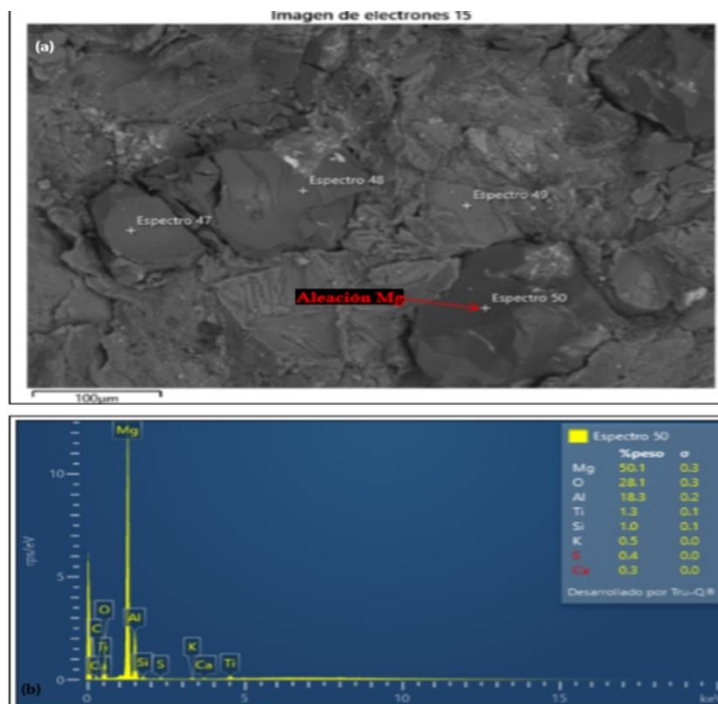
Nombre de la aleación	Proporción (%)					Otros metales	Notas
	Mg	Al	Zn	Si	Mn		
AE44	92	4	-	-	-	4% metal de Misch	Con <a href="#">metal de Misch</a> , una aleación de elementos de tierras raras con aproximadamente 50% de cerio y 25% de lantano
AJ62A <sup>B</sup>	89.8–91.8	5.6–6.6	0.2	0.08	0.26–0.5	2.1–2.8% Sr, <0.1% cada uno de Be, Cu, Fe, Ni	Aleación de Mg para motores de alta temperatura
WE43	93.6	-	-	-	-	Y 4%, Nd 2.25%, 0.15% Zr	Utilizado en aeronaves y vehículos de alto rendimiento, resistencia a la tracción 250 MPa <sup>2</sup>
AZ81	?	7.5	0.7	-	?	?	-
AZ31B <sup>10</sup>	96	2.5–3.5	0.7–1.3	<0.05	0.2	?	Aleación forjada, buena resistencia y ductilidad, resistencia a la corrosión, soldabilidad, extrusionable
AMCa802	91.5	8	0.1	-	0.35	2% Ca	Aleación de Mg no combustible
AM60	93.5	8	0.1	-	0.35	-	-
AZ91 <sup>11</sup>	90.8	8.25	0.63	0.035	0.22	Cu – 0.003; Fe – 0.014; Be – 0.002	Utilizada para fundición a presión
QE22 <sup>12</sup>	-	-	-	-	-	2.5% Ag, 2% RE, 0.6% Zr	
Magnox (Al 80)	99.2	0.8	-	-	-	-	Aleación de magnesio no oxidante

**Figura 106.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (Aleación Mg) con valores de oxígeno y aluminio. (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Oxígeno (O), Aluminio (Al) y Zinc (Zn).

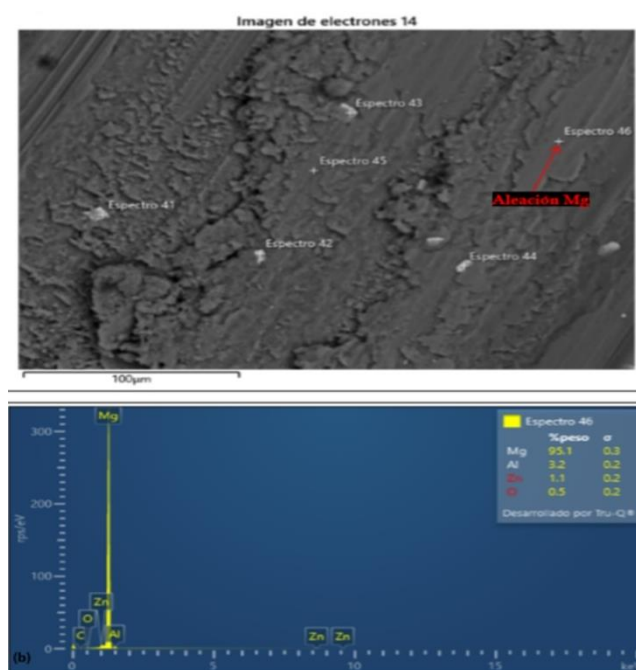
**Figura 107.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (Aleación Mg) oxidado con valores de aluminio y titanio. (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Oxígeno (O), Aluminio (Al), Titanio (Ti), Silicio (Si), Potasio (K), Azufre (S) y Calcio (Ca).

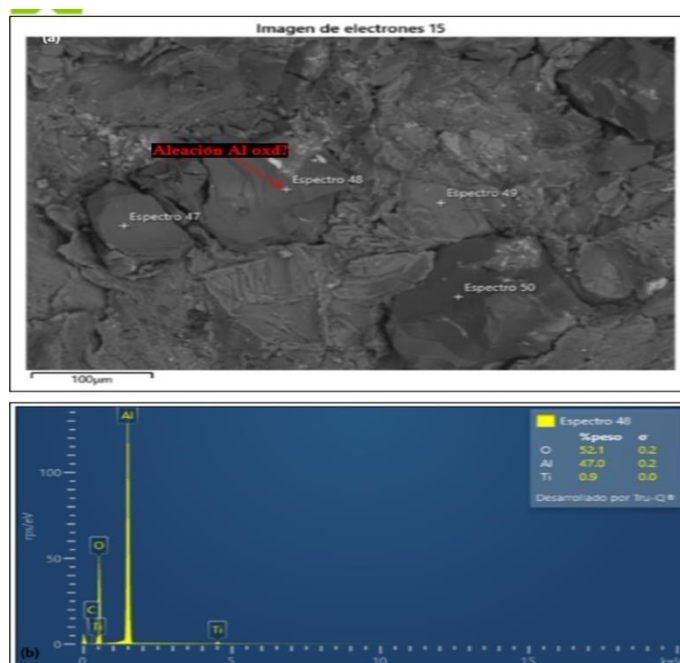


**Figura 108.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (Aleación Mg) oxidado con valores de aluminio y zinc. (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Zinc (Zn) y Oxígeno (O).

**Figura 109.**

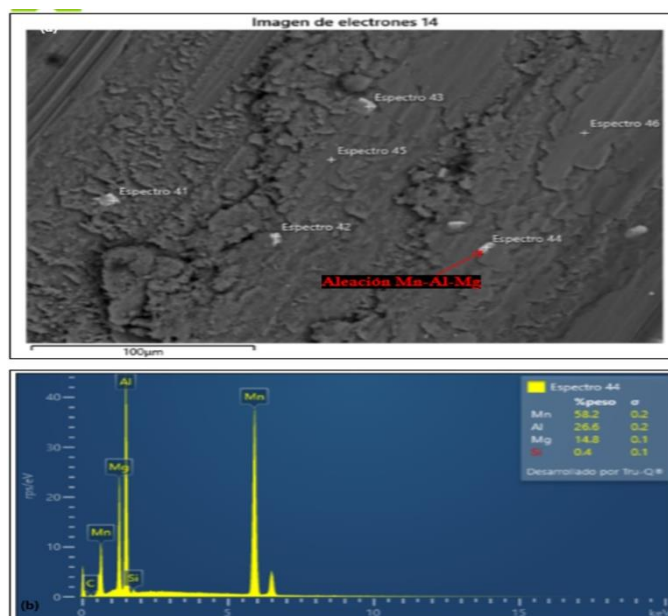
(a) Región señalada e identificada como aleación de aluminio oxidada (Aleación Al oxd) (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Oxígeno (O), Aluminio (Al) y Titanio (Ti).



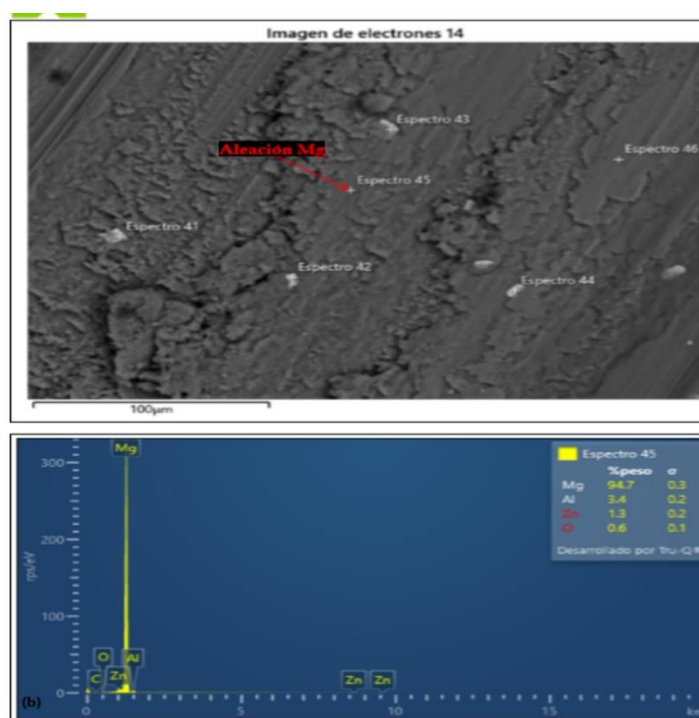


**Figura 110.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de manganeso-aluminio-magnesio (Aleación Mn-Al-Mg) con valores de sílice. (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Manganeso (Mn), Magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Silicio (Si).

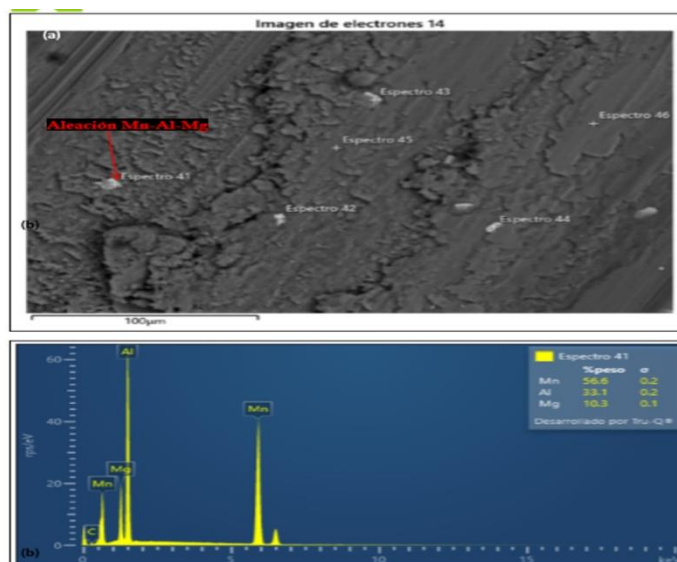
**Figura 111.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de magnesio (Aleación Mg) con valores de aluminio y zinc. (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Zinc (Zn) y Oxígeno (O).

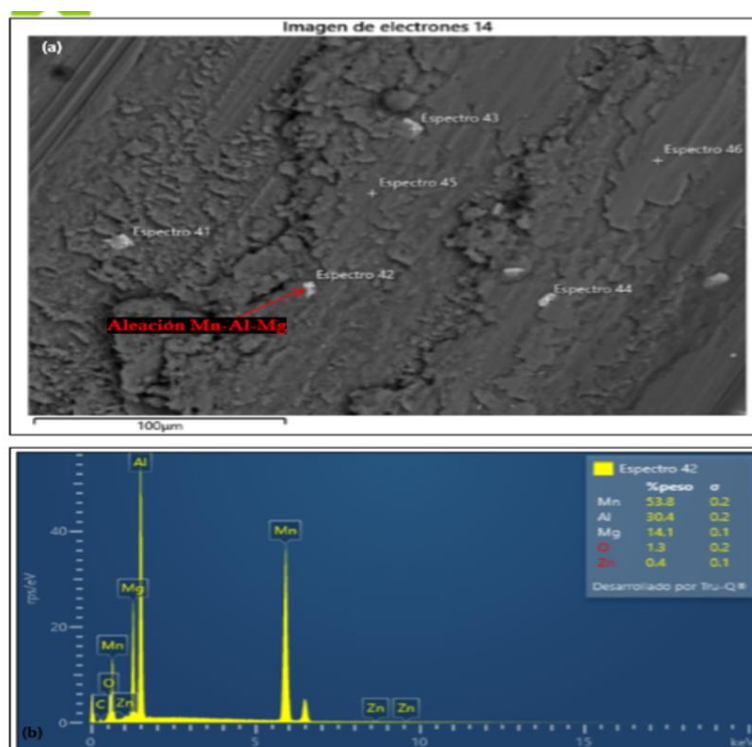


**Figura 112.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de manganeso-aluminio-magnesio (Aleación Mn-Al-Mg). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Manganeso (Mn), Magnesio (Mg) y Aluminio (Al).

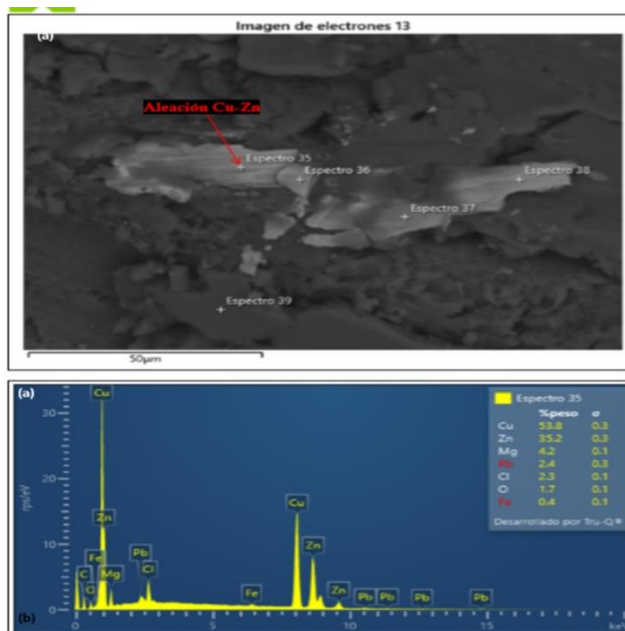
**Figura 113.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de manganeso-aluminio-magnesio (Aleación Mn-Al-Mg). Presencia de oxígeno (O) y zinc (Zn). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Manganeso (Mn), Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Oxígeno (O) y Zinc (Zn).



**Figura 114.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de cobre-zinc (Aleación Cu-Zn). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Cobre (Cu), Zinc (Zn), Magnesio (Mg), Cloro (Cl), Oxígeno (O), Plomo (Pb) e Hierro (Fe).

**Figura 115.**

(a) Región señalada e identificada como aleación de cobre-zinc (Aleación Cu-Zn). (b) Espectro que muestra los elementos presentes: Cobre (Cu), Zinc (Zn), Magnesio (Mg), Cloro (Cl), Oxígeno (O), Plomo (Pb), Hierro (Fe), Bromo (Br) y Silicio (Si).

