

Análisis de pureza en concentrados de zinc mediante herramientas de calidad en mina de Sombrerete, Zacatecas.

Luna Quirino María Libertad, Morales Ávila Óscar Eduardo, González Rivas José Amado, Guzmán Ayala Ana Laura, López Domínguez Adriana miembros del Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente/ TecNM

Resumen - El trabajo contiene el análisis del proceso de extracción de zinc en una empresa minera del estado de Zacatecas mediante herramientas de calidad como son: la carta de control X-R, el índice de capacidad de proceso y el análisis de correlación del concentrado de zinc con diferentes minerales como la plata, el cobre, el hierro y el plomo; mediante la aplicación de las herramientas se logra identificar que existe una variación en el concentrado extraído y que aunque el proceso se encuentra estable, no es adecuado para el trabajo debido a la amplitud en su variación, respecto al índice de correlación se observa un comportamiento inverso, es decir a mayor concentración de zinc disminuye el nivel de otros minerales, de tal manera que se tiene un panorama de los parámetros ideales de zinc, con diferentes porcentajes de minerales, posteriormente se aplica un análisis con dos herramientas: el diagrama de árbol y el diagrama de Ishikawa que permiten conocer las causas probables que están generando la contaminación del zinc, llegando a identificar el medio ambiente y la falta de control subterráneo, así como la filtración de moléculas de oxígeno, el deterioro en las partículas de metal, así como la falta de control de la cantidad de humedad lo cual repercute en la calidad del producto final, se agregan como propuestas de mejora dos planes de muestreos uno con el método MIL STD 105 E y otro con el Dodge Roming para analizar los lotes, así como el nivel de calidad de salida. Palabras clave: Calidad, Control, Mejora, Variación, Zinc.

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo engloba aspectos relacionados con los concentrados de zinc que se extraen de una mina de Sombrerete Zacatecas, además muestra la aplicación de diversas herramientas de calidad para la obtención de datos que indagan sobre los factores que inciden en la calidad del concentrado del mineral.

La investigación incluye la aplicación del diagrama de dispersión, el cual es un dibujo cartesiano que proporciona una representación gráfica de aquellos elementos muestrales.[6]

Aunque la tendencia a largo plazo sea inequívoca, mediante los gráficos pueden establecerse diversas coyunturas de rasgos especialmente homogéneos. [2]

La investigación se enfoca en el proceso de extracción del concentrado de zinc, durante los últimos dos meses del año 2022, con el propósito de establecer estrategias de mejora las cuales contribuyan a controlar los niveles de especificación del mineral.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El principal problema que se presenta es la variación de los índices de pureza en los concentrados de Zinc en la mina de Sombrerete, Zacatecas.

La manipulación de las distintas variables, como presión, volumen, concentración y temperatura, pueden modificar la dirección de las reacciones efectuadas durante el desarrollo de un proceso. [8]

¹Documento recibido el 15 de junio de 2023. Este trabajo fue apoyado en parte por el Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente/TecNM. Autores: Luna Quirino María Libertad, Morales Ávila Óscar Eduardo, González Rivas José Amado, Guzmán Ayala Ana Laura, López Domínguez Adriana,

Domicilio: Av. Tecnológico 2000. Col Loma la Perla CP.99102 e-mail: lunalibertad414@gmail.com

III. JUSTIFICACIÓN

Al realizar la investigación se pretende conocer la eficiencia de los procesos en una mina ubicada en Sombrerete, Zacatecas, para identificar aquellos factores que inciden en la calidad del concentrado de zinc y proponer un control en el concentrado del mineral.

La misión de los inspectores de calidad es comprobar, de forma objetiva, que el producto cumple con las especificaciones, las cuales han sido establecidas por la propia organización o por el cliente; y si dicho producto no cumple de la manera adecuada, retirarlo de la cadena para evitar su uso, ya que mientras este sea de mejor calidad será mejor pagado. [4]

El objetivo final de la minería de procesos es mejorar los procesos a través de la aplicación de herramientas de análisis de procesos y minería de datos. [1]

Las técnicas estadísticas son una herramienta poderosa para el gerente de control de calidad. ya que arroja ciertas cifras y una gráfica bien elegida le permiten tanto resumir los resultados en forma objetiva cómo estimular al consejo de administración para que tome decisiones basado en información validada.[3]

IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Las condiciones ambientales influyen en el nivel de concentración del zinc extraído de la mina de Sombrerete Zacatecas?

IV. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL:

B. Analizar el comportamiento de los grados de pureza de Zinc en el total de toneladas molidas de roca obtenidas en los últimos dos meses de trabajo del año 2022 de la mina de Sombrerete Zacatecas mediante distintas herramientas de calidad para determinar los factores que influyen en la pureza y calidad del concentrado.

C. OBJETIVO ESPECÍFICO:

D. Diseñar una propuesta de muestreo para la mina de Sombrerete Zacatecas con el uso de Dodge Roming para la identificación de defectos en los concentrados.

VI. HIPÓTESIS

Se le atribuye la variabilidad de los concentrados de zinc a que no existe control de la cantidad de humedad en el proceso de extracción del mineral.

VII. METODOLOGÍA

La investigación es del tipo cuantitativa correlacional, ya que pretende entender el comportamiento de variables y conocer qué factores influyen de manera positiva o negativa en el concentrado de zinc.

Se realiza un muestreo aleatorio mediante un muestreo aleatorio simple. En la etapa de análisis se efectúa la comparación de las medidas obtenidas con otros estudios previos, observaciones anteriores y contraste entre grupos.[7]

Dentro del método de análisis se incluye una muestra probabilística, ya que se conforman subgrupos en la cual todos los elementos tienen la misma posibilidad de ser elegidos.

Etapa 1. Por medio de un muestreo aleatorio simple se hacen pruebas al concentrado de zinc para mediante un gráfico de control analizar la variación del mineral.

Etapa 2. Posteriormente mediante un análisis de capacidad de proceso con los índices: Cp, Cpk y Cpm se identifican los niveles de calidad del concentrado y se evalúa si cumple o no con las especificaciones del cliente.

Etapa 3. De manera consecutiva se realizan análisis de dispersión con las pruebas del laboratorio para observar el comportamiento del zinc, en comparación con otros minerales como: cobre, hierro, plomo y plata, para evaluar ciertos factores como: humedad o temperatura.

Etapa 4.- Enseguida se procede a elaborar un diagrama Causa-Efecto para identificar de manera colegiada aquellos factores que generan la variación en el concentrado y pureza del zinc, para de forma específica proponer soluciones puntuales a dicha problemática.

Etapa 5. Se propone un muestreo de aceptación para los lotes de la mina ubicada en Sombrerete, Zacatecas, con el objetivo de mejorar los niveles de calidad del concentrado de zinc.

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

Como parte del desarrollo de esta investigación se utilizan herramientas de calidad como:

- Carta de control X-R
- Índice de capacidad de proceso
- Análisis de correlación

- Diagrama Causa-Efecto
- Diseño de experimentos (pruebas en el concentrado de Zinc donde se evalúan los componentes y en este caso la humedad)

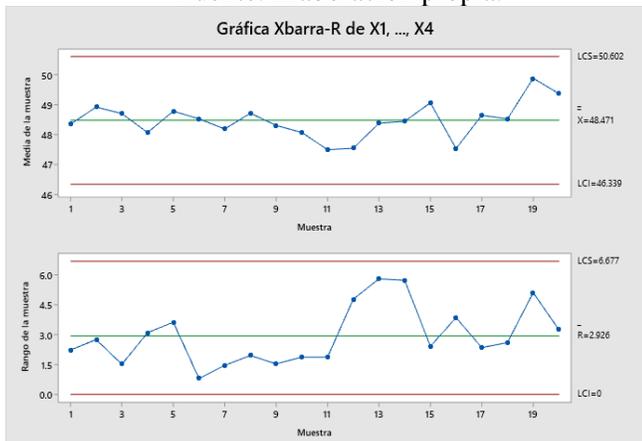
IX. RESULTADOS

De forma periódica se obtienen subgrupos de mediciones en el nivel de pureza de los concentrados de zinc en las toneladas molidas producidas en la mina ubicada en Sombrerete, Zacatecas. En total se trabajan con 4 subgrupos de 20 datos cada uno para poder determinar lo siguiente:

X1	X2	X3	X4	Media	R
49.37	48.89	47.14	47.97	48.343	2.226
49.05	50.49	48.39	47.74	48.916	2.749
47.74	49.25	48.85	48.95	48.697	1.510
46.23	49.32	48.03	48.68	48.064	3.094
50.74	47.74	47.12	49.51	48.778	3.621
48.21	48.63	49.01	48.24	48.522	0.799
47.72	47.93	49.18	47.90	48.184	1.455
48.60	49.27	49.46	47.51	48.709	1.950
49.06	48.84	47.53	47.78	48.303	1.530
47.26	48.57	49.13	47.30	48.066	1.869
46.63	48.03	48.50	46.80	47.492	1.865
45.91	50.46	48.09	45.69	47.539	4.770
46.68	52.48	47.05	47.29	48.375	5.800
45.28	51.01	47.81	49.65	48.438	5.730
48.12	50.53	48.44	49.14	49.057	2.411
45.29	49.14	48.24	47.45	47.530	3.850
47.97	50.07	47.72	48.79	48.639	2.345
46.80	49.40	48.60	49.28	48.520	2.599
47.21	52.32	50.71	49.27	49.876	5.106
47.94	51.18	49.50	48.84	49.366	3.244
PROMEDIO				48.471	2.926

Tabla 1.- Resultados de las pruebas realizadas en el laboratorio para determinar el nivel de concentración del mineral.

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 1.- Análisis del comportamiento de concentrado de mineral con base en las muestras del laboratorio.

Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica 1 se presenta una visible variación en las pruebas realizadas al concentrado de zinc, incrementando su valor a partir del grupo 10, mientras que, en el rango, la alteración en los valores obtenidos es más notable.

DATOS PARA Cp y Cpk	
LES	52.5
LEI	45
S	1.4
T	8
VME	48.750
MEDIA	48.471
VME-MEDIA	0.279
k	0.074

Tabla 2. Datos para el análisis de la capacidad de proceso.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 2 se comienza con el análisis del proceso estableciendo los límites de especificación superior de 52.5 gramos e inferior de 45 gramos, y de acuerdo a las muestras tomadas, se determina que la desviación estándar es de 1.4, mientras que la media es de 48.47 gramos.

CAPACIDAD DE PROCESO	
Cp	0.892808

Tabla 3.. Resultados de la capacidad de proceso.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 3, la capacidad del proceso entra en el rango de 0.67 y 1 por lo cual se encuentra en la clase 3, por ende, el proceso no es adecuado para el trabajo, es necesario llevar a cabo un análisis del proceso más detallado.

CAPACIDAD DE PROCESO	
Cpk	0.82630789

Tabla 4.- Cálculo de la capacidad de proceso considerando los valores medios.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4 al determinar el índice de capacidad de proceso considerando valores medios, Cpk entra en el rango de 0.67 y 1 por lo cual se encuentra en la clase 3, lo que indica que el proceso requiere una modificación seria para alcanzar una calidad satisfactoria.

DATOS PARA Cpm	
n	80
LES	52.5
LEI	45
S ²	1.9602
TARGET	49
MEDIA	48.471
LES-LEI	7.5
Cpm	0.83972306
	9

Tabla 5 Datos para determinar el índice de capacidad de proceso considerando el target.
Fuente: Elaboración propia

Como se contempla en la tabla 5, para calcular el índice de capacidad Cpm se agrega el Target (medida ideal) del proceso, y al obtener el resultado de 0.83972306 se registra en el rango de 0.67 y 1 por lo cual se encuentra en la clase 3, por ende el proceso no es adecuado para el trabajo y es necesario llevar a cabo modificaciones para alcanzar una calidad satisfactoria con respecto a las especificaciones del cliente.

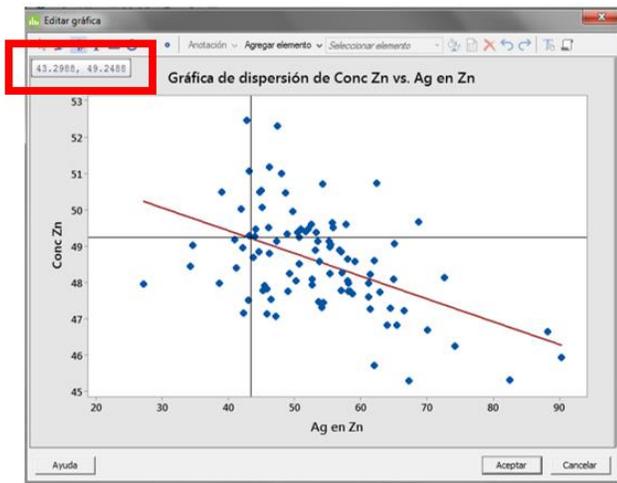


Gráfico 2. Análisis correlacional del concentrado del zinc con relación a otros minerales.
Fuente: Elaboración propia.

Con relación al gráfico 2 de manera visual se puede observar que la correlación que tiene el insoluble con respecto al zinc es fuerte e inversamente proporcional, es decir, mientras más aumente el concentrado de zinc, va a

disminuir la plata, el plomo, el cobre, el hierro y el insoluble.

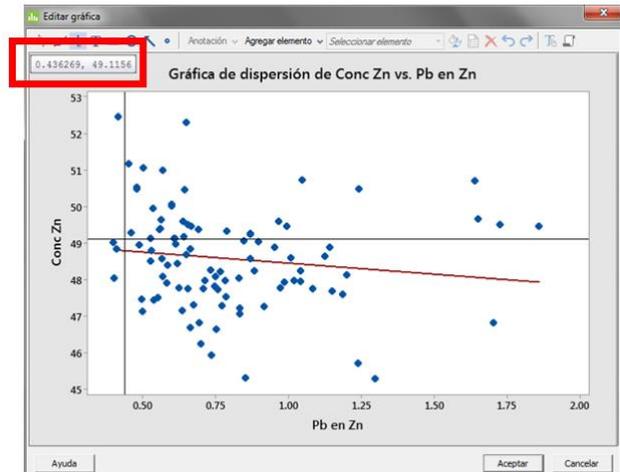


Gráfico 3.- Análisis del zinc con relación al plomo
Fuente: elaboración propia.

En el gráfico 3 se aprecia que al relacionar el concentrado de Zinc con otros metales como el plomo, el nivel de concentración disminuye de forma radical, lo que denota que no resulta conveniente para la empresa realizar dichas mezclas ya que la calidad del producto se vería afectada.

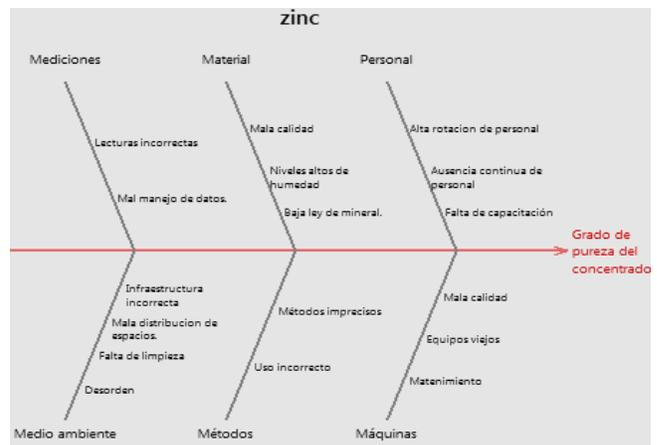


Gráfico 4 Diagrama Causa-Efecto para el análisis del grado de pureza del concentrado de zinc
Fuente: Elaboración propia

Al analizar el gráfico 4 se observan las posibles causas de variabilidad en la pureza del concentrado de zinc, dentro de las cuales se destacan: la infraestructura incorrecta, la mala distribución de los espacios, la falta de limpieza y el desorden, al realizar una exploración de campo más exhaustiva se agregan diversas situaciones como: corrosión de las toneladas molidas; de las cuales se derivan otras tres posibles causas:

1. Filtración de moléculas de oxígeno.
2. Deterioro en las partículas de metal.
3. Control de la cantidad de humedad.

Posteriormente de manera estratégica se reúnen los departamentos involucrados en el proceso para un análisis más meticuloso del problema en el nivel de concentrado de Zinc, dentro de las cuales se destacan las posibles razones: la primera es la posibilidad nula de control de las partículas de aire y la segunda es la cantidad de agua que ingresa al interior de la mina, motivo por el cual se propone realizar un muestreo de aceptación y de ésta manera anticiparse a posibles fallas en la calidad de concentrado de mineral.

Se propone aplicar un muestreo de aceptación, el cual se puede establecer en cualquier relación cliente-proveedor, ya sea en el interior de una empresa o entre diferentes empresas; se considera una medida defensiva para protegerse contra la amenaza del posible deterioro en la calidad. [5]

El tamaño del lote analizado es de $N = 80$ unidades de acuerdo a un límite de calidad aceptable $NCA = 0.40\%$ y se requiere de un nivel de inspección II.

LETRA CÓDIGO PARA EL TAMAÑO DE LA MUESTRA	TAMAÑO DE LA MUESTRA n	NIVEL DE CALIDAD ACEPTABLE									
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65
A	2	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re
B	3	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re
C	5	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re
D	8	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re
E	13	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re
F	20	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re
G	32	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re	Ac/Re

Tabla 6 Uso de los parámetros de MIL STD 105 E
 Fuente: <https://simplascio.files.wordpress.com/2017/03/military-standard-105e.pdf>

Con un $NCA = 0.40$
 $N = 80$ $n = 13$ $Ac = 0$ $Re = 1$

Como se aprecia en la tabla 6 al proponer el uso del muestreo de aceptación con la tabla MIL STD 105 E, con un nivel de calidad de 0.40 y un total de 80 grupos de lotes de concentrado de zinc, se determina que es necesario realizar una inspección de 13 muestras, y si no se encuentran productos defectuosos se acepta el lote de 80, en cambio si se encuentra un lote con un nivel de pureza en zinc que rebase los límites de especificación permitidos, se tendría que rechazar el concentrado del mineral, esto en gran medida por el nivel de calidad que implementa la empresa minera.

X. CONCLUSIONES

Al analizar e interpretar el comportamiento de los grados de pureza del concentrado de Zinc en los últimos meses de trabajo de la mina ubicada en Sombrerete, Zacatecas, se obtiene que las situaciones que más afectan el producto son: la infraestructura incorrecta, la mala distribución de los espacios, la falta de limpieza y el desorden, aunado a las condiciones ambientales como lo son: filtración de agua, deterioro de partículas de metal y el control de la cantidad de humedad en los espacios del interior mina; razón por la cual se acepta la hipótesis de que la variabilidad del producto se puede atribuir a las condiciones de humedad en el proceso de extracción del concentrado de zinc.

Al proponer un muestreo de aceptación con uso de tablas se contribuye a tener un control más estricto sobre la calidad de producto y en consecuencia se puede mejorar la satisfacción del cliente.

XI. RECONOCIMIENTO

Se reconoce al TecNM campus Zacatecas Occidente particularmente al Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente por la colaboración respecto a los medios proporcionados para la realización de este estudio. De la misma manera, se agradece a la empresa minera ubicada en Sombrerete Zacatecas por atender a la solicitud de información de esta investigación.

XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Aguirre Mayorga, H. S. (2016). Minería de procesos: fundamentos y metodología de aplicación.. Editorial Pontificia Universidad Javeriana. <https://elibro.net/es/ereader/itszo/123318?page=24>

[2] Arenas Posadas, C. (2016). Empresa, mercados, mina y mineros.. Universidad de Huelva. <https://elibro.net/es/ereader/itszo/44803?page=40>

[3] Gillet Goinard, F. (2015). La caja de herramientas: control de calidad.. Grupo Editorial Patria. <https://elibro.net/es/ereader/itszo/39347?page=25>

[4] López Lemos, P. (2016). Herramientas para la mejora de la calidad: métodos para la mejora continua y la solución de problemas.. FC Editorial. <https://elibro.net/es/ereader/itszo/114213?page=15>

[5] Ledesma, L. Pérez Rodríguez, J. V. & Ledesma, L. (2016). Introducción a las técnicas de muestreo.. Difusora

Larousse - Ediciones Pirámide.
<https://elibro.net/es/ereader/itszo/49161?page=43>

[6] Luceño Vázquez, A. (2015). Métodos estadísticos para medir, describir y controlar la variabilidad.. Editorial de la Universidad de Cantabria.
<https://elibro.net/es/ereader/itszo/53393?page=50>

[7] Monroy Mejía, M. D. L. Á. & Nava Sanchezllanes, N. (2018). Metodología de la investigación.. Grupo Editorial Éxodo.
<https://elibro.net/es/ereader/itszo/172512?page=101>

[8] Monsalvo Vázquez, R. & María del Rocío Romero Sánchez. (2015). Balance de materia y energía: procesos industriales.. Grupo Editorial Patria.
<https://elibro.net/es/ereader/itszo/39426?page=39>

XIII. BIOGRAFÍAS

Luna Quirino María Libertad Nació el 19 de Octubre del 2001. Estudiante de último año de la carrera de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente. Con destacadas participaciones en concursos de Ciencia, Tecnología e Investigación como InnovaTecNM y Jóvenes Investigadores además de formar parte de actividades extracurriculares como escolta de bandera con participación en el Concurso Nacional de Escoltas de Bandera y Bandas de Guerra Nacional Perla del Pacífico.



Morales Ávila Óscar Eduardo Nació el 5 de enero de 1998. Historial académico: actualmente cursa el 9no semestre de la carrera Ingeniería Industrial, en el Tecnológico Superior Zacatecas Occidente (ITSZO) próximo a realizar sus residencias profesionales. Ha participado en diferentes concursos a lo largo de su estancia en el tecnológico: Jóvenes Investigadores obteniendo el segundo lugar con el proyecto “Análisis de la factibilidad para mejora en el relleno sanitario de Sombrerete, Zacatecas”, INNOVATEC (Modalidad en línea) obteniendo el primer lugar en la etapa interna con el proyecto “Análisis de los niveles de pureza en los concentrados de zinc en toneladas molidas de la mina Madero”, y participación en el 6to Congreso Internacional de la Investigación Multidisciplinario con la ponencia “Análisis de pureza en concentrados de Zinc mediante herramientas de calidad en mina de Sombrerete Zacatecas”.



González Rivas José Amado. Nació en Durango Dgo. El 8 de enero de 1977. Historial académico: Ingeniero Industrial por el Instituto Tecnológico de Durango (ITD) egresado en 2001. Maestro en Ciencias con especialidad en Sistemas de Calidad y Productividad por el Instituto Tecnológico



y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) en 2007. Se integró en la industria privada en 2001 como ingeniero de manufactura en componentes automotrices en la Planta 3, del Grupo Industrial Armas en Dgo. En 2003 se integra como docente de asignatura en el Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente (Sombrerete Zac.). En 2004 participa como docente en el Cbtis #104 (Sombrerete Zacatecas). En 2017 participa como docente en el programa de Maestría en Economía Minera en la Universidad Autónoma de Fresnillo. Actualmente continúa desempeñándose en el Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente como jefe de división de Ingeniería Industrial de 2015 a la fecha. De 2010 a 2015 como jefe de carrera de Ingeniería Técnica Minera y del 2007 a 2010 como jefe de carrera de Ingeniería Industrial.

Guzmán Ayala Ana Laura. Nació en Sombrerete, Zacatecas el 4 de septiembre de 1984. Historial académico: Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente, Sombrerete, Zacatecas, 2007. Maestra en Calidad Total Seis Sigma por la Universidad Regional del Norte, Chihuahua, Chihuahua, junio 2020. Se integró al ámbito laboral en el año 2007 para el organismo público INEGI coordinando y capacitando personal para captar información de la población. En el 2008 colabora en el sector privado para la empresa Agrocapital del Norte fungiendo como encargada de la sucursal de Sombrerete en el otorgamiento de créditos financieros y préstamo de semillas. En el año 2010 se agrega al grupo de docentes del Instituto San Juan Bautista Lasalle impartiendo clases de inglés y computación. En el año 2013 impartió clases de inglés para escuelas de nivel básico de la SEDUZAC. En el 2014 se incorpora a la empresa BBVA realizando transacciones, vendiendo tarjetas y administrando los recursos financieros. Desde 2017 a la fecha se une al Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente como docente participando en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Actualmente la M.C.S.S. es perfil PRODEP y colabora en el cuerpo académico Desarrollo y Gestión Empresarial “En Formación”, promoviendo la generación de proyectos que desarrollan la competitividad de las empresas de la región.



Adriana López Domínguez. Nació en Fresnillo, Zac.

El 29 de agosto de 1989.



Historial académico: Licenciada en Administración por el Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente 2013.

Maestra en Administración por el Instituto de Estudios Universitarios de la ciudad de Puebla 2022.

Se ha desempeñado como auxiliar en diferentes áreas administrativas tales como Recursos Humanos y la Academia de Administración e Ingeniería en Gestión empresarial en el Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente y de agosto del 2017 a la fecha es profesora de asignatura A de la academia de Ingeniería Industrial de la misma institución.

La M.A. Adriana López Domínguez es miembro del comité evaluador del Consejo de Acreditación de Ciencias Administrativas, Contables y Afines, la agencia especializada en el área Económico-Administrativa más reconocida a nivel mundial.