
Preinforme: Análisis de desempeño red neuronal en entorno relevante

Atendido por : Exequiel López
Cargo : Ingeniero de Proyecto.
Fecha : 25 / 03/ 2022

www.cctval.cl



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

1. ÍNDICE

1.	ÍNDICE	1
2.	INTRODUCCIÓN.	3
3.	OBJETIVOS.	4
3.1.	Objetivo general.....	4
3.2.	Objetivos específicos.....	4
4.	HIPÓTESIS.	4
5.	MARCO TEÓRICO.	5
6.	EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES.	6
6.1.	Equipos.....	6
6.1.1.	Principio de funcionamiento Hardware.	6
6.1.2.	Principio de funcionamiento del software.....	7
6.2.	Instrumento y materiales.....	8
6.3.	Reactivos	9
7.	DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA MULTIESPECTRO	9
8.	METODOLOGÍA.....	11
8.1.	Configuración cámara, toma de video y obtención de fotografías.....	11
8.2.	Proceso experimental de muestreo.....	14
9.	REFERENCIAS.....	16

Índice de figuras

Figura 1. Configuración electrónica del ion Cu^{2+}	5
Figura 2. Orbital $3d^6$ de $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$	5
Figura 3: Esquema del ME.....	6
Figura 4: ME real.	6
Figura 5: Elementos que componen una red neuronal simple (Salgado, 2017).....	7
Figura 6. Página web de descarga del programa ffmpeg.	11
Figura 7. Operación de comando Win + R para ejecutar terminal de Windows.	12
Figura 8. Cambio de carpeta en terminal de Windows.	12
Figura 9. Identificar nombre de cámara de multiespectro.....	12
Figura 10. Código para toma de video para cada muestra.....	13
Figura 11. Configuración de cámara de multiespectro con programa ffmpeg.	13
Figura 12. Proceso de obtención de imágenes provenientes de videos.	14

Índice de tablas

Tabla 1: Composición PLS Minera Mantoverde (Latorre, 2010).....	3
Tabla 2. Concentraciones para curva calibración Cu^{+2}	14
Tabla 3. Concentraciones para curva calibración Fe^{+2}	14
Tabla 4. Concentraciones mezclas de alimentación para la red neuronal.	15
Tabla 5. Concentraciones mezclas de validación de la red neuronal.	15

2. INTRODUCCIÓN.

El presente documento se enmarca en el proyecto que involucra el equipo de medición “Multiespectro” (desde ahora el equipo, ver sección equipos y materiales). Este equipo tiene la finalidad de medir concentración de cobre en línea en la etapa de lixiviación del proceso hidrometalúrgico de este mineral.

El contenido resultante del proceso de lixiviación se almacena en piscinas y se le denomina PLS (analito) y su composición principalmente es la presentada en la Tabla 1.

Tabla 1: Composición PLS Minera Mantoverde (Latorre, 2010)

Compuesto	Cantidad según bibliografía
Cu⁺²(Ion cobre +2)	7,0 g/l
Fe (Fierro)	11,0 g/l
Al (Aluminio)	15 g/l
Mg (Magnesio)	15g/l
Mn (Manganeso)	4 g/l
SiO₂ (Dióxido de silicio)	0,1 g/l
CL⁻ (Ion cloruro)	1,9 g/l
H₂ SO₄ (Ácido sulfúrico)	1,8 g/l

Hasta ahora el equipo y su red neuronal han sido entrenados para un compuesto que solo contiene ácido sulfúrico, agua y cobre, lo que no se asemeja a la realidad del analito a medir según Tabla 1.

Es por esto, que se pretende realizar una experiencia de laboratorio con el equipo multiespectro con un analito que tenga la composición más cercana y a la vez que pueda generar una perturbación relevante a la medida de la concentración de cobre en él. Esto último es una medición de entorno relevante.

Esto se realiza ya que en la misma memoria original sugería la realización de la metodología de investigación con PLS real.

La metodología de medición del equipo se basa en un ajuste semi-empírico proporcionado por una red neuronal, la cual deberá ser capaz de distinguir las concentraciones de los diferentes componentes del PLS y sus concentraciones.

Es por esto, que el componente a evaluar en esta experiencia es el desempeño de la red neuronal del equipo para distinguir y medir la concentración de cobre en una matriz cercana a la realidad, conocida como entorno relevante.

A continuación, en la siguiente sección se presentan los objetivos de esta experiencia de laboratorio.

3. OBJETIVOS.

3.1. Objetivo general.

Medir el desempeño de la red neuronal para distinguir el cobre y su concentración en una matriz que representa al entorno relevante.

3.2. Objetivos específicos.

- Especificar marco teórico de la problemática a evaluar.
- Especificar materiales y métodos.
- Definir el diseño de experimento adecuado.
- Tomar muestras a través de la metodología propuesta
- Entregar datos de alimentación a la red neuronal con el fin de generar el mejor aprendizaje.
- Medir concentración de muestras de validaciones
- Medir concentración de muestras ciegas de mineras reales.

4. HIPÓTESIS.

Se establece como hipótesis, que las redes neuronales no pueden diferenciar separadamente la intensidad de analitos coloreados azul y verde en una mezcla de ambos en disolución.

Esta es una Hipótesis del tipo nula, es por tanto que para su comprobación se necesita que cada concentración de cobre cumpla una de las dos hipótesis siguientes:

- H0: La concentración de cobre que se obtiene del multiespectro **es distinta** a la concentración del método de contraste (absorción atómica).
- H1: La concentración de cobre que se obtiene del multiespectro **es igual** a la concentración del método de contraste (absorción atómica).

Esto se resume en:

- Si la concentración de cobre de las muestras de validación y ciegas que entrega el multiespectral supera una media de un error relativo por muestra esperado del 30% se rechaza la hipótesis H1.
- Si la concentración de cobre de las muestras de validación y ciegas que entrega el multi espectro NO una media de un error relativo por muestra esperado del 30% se rechaza la hipótesis H0.

5. MARCO TEÓRICO.

El PLS (pregnant leach solution) es una disolución química generada por la lixiviación de minerales de cobre tras el proceso de riego y lixiviación, siendo de composición variable, pero conteniendo principalmente cobre y hierro, lo que le otorga un color verde azulado. Esto se debe a la mezcla entre los iones Cu^{2+} (azul) y Fe^{2+} (verde) en disolución.

El color aportado por cada ion se debe a sus transiciones electrónicas, los cuales dependen únicamente de la energía absorbida por cada transición. Por ejemplo, el cobre en disolución se encuentra formando el complejo $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, el cual es una molécula tetraédrica distorsionada. La configuración electrónica del ion Cu^{2+} es $[\text{Ar}] 3d^9$, siendo su orbital $3d^9$ el más externo, por lo que su representación se expresa en la Figura 1.

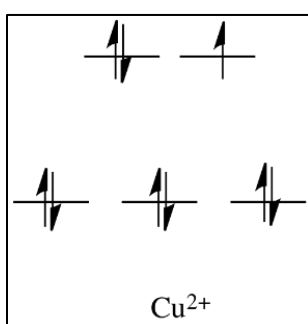


Figura 1. Configuración electrónica del ion Cu^{2+}

En el nivel superior, un electrón queda desapareado, por lo que un electrón del nivel inferior transiciona al nivel superior debido a la acción de la luz incidente. Este proceso absorbe energía en el rango de los 580-620 nm (naranja), por lo que se observa de color azul. Esta transición depende únicamente de los niveles energéticos en los orbitales, por lo que la luz incidente (en el rango visible) no tendrá efecto alguno en el color observado de la disolución.

Para el caso del hierro, el complejo formado es $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, con una configuración electrónica de $[\text{Ar}] 3d^6$, siendo su orbital $3d^6$ descrito gráficamente como se muestra en la Figura 2.

Teniendo un electrón apareado, este aumenta su energía al incidir la luz, por lo que aumenta de nivel energético absorbiendo en las longitudes de onda entre 680-780 nm (púrpura) observándose la disolución de color verde.

Por lo tanto, estando ambos iones en una disolución acuosa, el color observado estará entre el verde y el azul, dependiendo de la concentración de cada uno de los iones. Sin embargo, esta combinación de colores no es lineal. Considerando la Ley de Beer, la concentración de un analito es directamente proporcional a la intensidad del color cuando es igual o menor a 0,01M, valor superado ampliamente por las concentraciones de PLS real. Por lo tanto, si bien la relación entre las intensidades del color y la concentración de un analito es proporcional, no necesariamente será lineal ni tendrá un comportamiento simple. Además, el color verde azulado observado en la disolución se debe a la superposición de los efectos causados por la absorción de la luz visible por parte de los iones repartidos por todo el volumen del líquido, resultandos indistinguibles por inspección directa -mediante la luz visible- los peaks asociados a cada color.

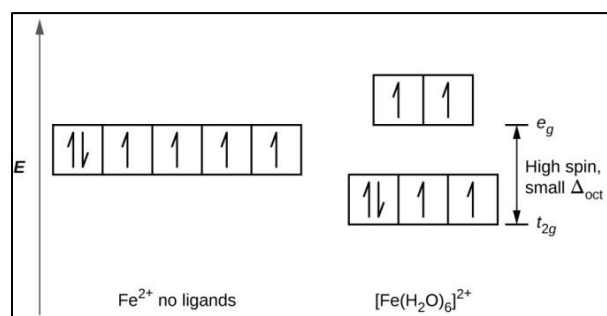


Figura 2. Orbital $3d^6$ de $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$.

6. EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES.

6.1. Equipos.

El multiespectro es el equipo al cual se le analizará su funcionalidad, esto debido a que este equipo se basa en el principio de la espectroscopia para su funcionalidad como analizador de analitos.

6.1.1. Principio de funcionamiento Hardware.

Un espectrofotómetro es un instrumento usado en el análisis químico que sirve para medir, en función de la longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones y la concentración o reacciones químicas que se miden en una muestra. Sus aplicaciones pueden ser cualitativas y cuantitativas.

En este caso la aplicación esperable es cuantitativa para medir la concentración de cobre en una solución de entorno relevante. Para esto en la Figura 3 y la Figura 4 se presenta el esquema representativo al multiespectro y la versión actual de este equipo.

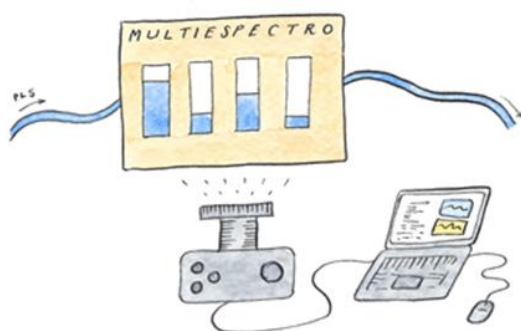


Figura 3: Esquema del ME.



Figura 4: ME real.

El modelo para determinar la concentración se basa en la *Ley de Lambert – Beer*. Si un haz de luz monocromático paralelo (I_0) atraviesa una cubeta de (b) [cm] de paso óptico, conteniendo una solución con una concentración (c) de una especie absorbente. A causa de la interacción de la luz de las partículas absorbentes, la intensidad del haz se atenúa de I_0 a I . La transmitancia (T) de la solución es entonces la fracción de la radiación incidente transmitida por:

$$T = \frac{I}{I_0}$$

Como esta ley no es válida para concentraciones superiores a 0,02 M (Harris, 2016).

Es que se propuso un modelo semi empírico con red neuronal.

6.1.2. Principio de funcionamiento del software

La disciplina que estudia las redes neuronales artificiales corresponde a la inteligencia artificial subsimbólica¹⁰, que como estructura parte de un sistema genérico que va adaptándose y construyéndose hasta formar por sí mismo un sistema capaz de resolver una problemática. Su diseño está basado en el sistema nervioso del cerebro, así como su estructura, funcionamiento y características que se adaptan y generen sistemas capaces de resolver problemas. Esta característica hace que las redes neuronales sean una herramienta que puede ser aplicable a cualquier tipo de problemática, donde los modelos matemáticos no se ajustan a una solución con la precisión requerida (Leiva, 2011).

La red neuronal que usa el equipo tiene la siguiente disposición, como se muestra en la Figura 5.

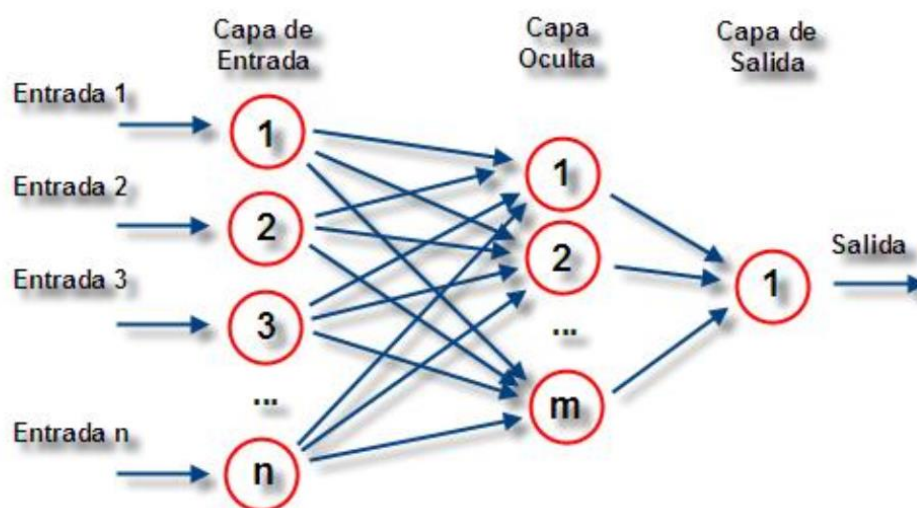


Figura 5: Elementos que componen una red neuronal simple (Salgado, 2017).

La distribución de neuronas dentro de la red es formando niveles o capas, de estas se pueden distinguir 3 tipos:

- **De entrada:** es la capa que recibe directamente la información proveniente de las fuentes externas de la red.
- **Ocultas:** son internas a la red y no tienen contacto directo con el entorno exterior. El número de niveles ocultos puede estar entre cero y un número positivo. Las neuronas de las capas ocultas pueden estar interconectadas de distintas maneras, esto determina junto con su número, las diferentes topologías de redes neuronales. En el desarrollo del trabajo se utilizaron diferentes niveles de capas ocultas, pero se determinó trabajar con 16.
- **De salida:** transfieren información de la red hacia el exterior.

6.1.2.1. *Mecanismo de aprendizaje del software.*

La red neuronal, debe aprender a calcular la salida correcta para cada arreglo o vector de entrada. Este proceso se llama proceso de entrenamiento o acondicionamiento. Este proceso fue llevado a cabo por el 10% de los datos.

Como la topología de la red y las diferentes funciones de cada neurona (entrada, activación y salida) no cambian durante el aprendizaje, lo que se modifica son los pesos (w) sobre cada una de las conexiones.

Esta modificación de los pesos se hizo a través de un proceso supervisado, que se caracteriza, porque el proceso de aprendizaje se realiza mediante un entrenamiento controlado, por un agente externo (supervisor maestro), que determina la respuesta que debería ganar la red a partir de una entrada determinada.

6.1.2.2. *Corrección de error.*

La corrección del error se realiza por la regla de aprendizaje de propagación hacia atrás o como su nombre en inglés *backpropagation*. Este también puede ser llamado como regla de LSM (Least Mean Squared Error o regla del mínimo error cuadrado) multicapa.

Cambia los pesos sobre las conexiones de la capa oculta ponderando su error, con la información que tiene previa

6.2. Instrumento y materiales.

- Vasos de precipitado de 100 mL.
- Matraces aforados de 100 mL.
- Balanza de precisión con una exactitud de 0,01 g.
- Pipeta graduada de 25 mL.
- Propipeta.
- Secador de pelo.
- Fondos de acero inoxidable.
- Bandejas de acero inoxidable.
- Tapas de acero inoxidable, para fuentes.
- Varilla de vidrio.
- Embudo de vidrio.
- Papel filtro.
- Agitador magnético.
- Equipo de agitación con calefactor.
- Varilla magnética.
- Espátula plana.
- Espátula de cuchara.

- Vasos plásticos para orina con tapa roja de 80 mL.
- Probeta.
- Celda de cuarzo de 3,5 mL de capacidad.
- Vaso de precipitado de 1000 ml, para descartables.
- Pinzas metálicas.
- Riñonera de acero quirúrgico.
- Guantes de vinilo, tallas: S, M, L, XL.
- Computador.
- Alargadores.
- Tambor azul de 200 L, para desechos líquidos ácidos.
- Tambor blanco de 60 L, para residuos sólidos.
- Secador de pelo.
- Papel tissue.
- Papel toalla.

6.3. Reactivos

- $\text{Cu}_2\text{SO}_4 \times 5 \text{ H}_2\text{O}$, calidad técnica.
- $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \times 7 \text{ H}_2\text{O}$, calidad técnica.
- HNO_3 al 65% de concentración, calidad p.a.
- H_2SO_4 al 95 -97 % de concentración, calidad p.a.
- H_2O desionizada.

7. DISEÑO DE EXPERIMENTO PARA MULTIESPECTRO

La precisión deseada para la medición del equipo multiespectro corresponde a la de un decimal. En este contexto, se necesita determinar un número de muestras adecuado para la precisión decimal, considerando los rangos de concentración de cobre y hierro.

El cobre se mide desde 0,0 g/L hasta 14,0 g/L, y el hierro desde 0,0 g/L hasta 48,0 g/L, teniendo en cuenta que la precisión es de un dígito decimal.

Para el caso donde la precisión es de la unidad, sin considerar decimales, se toma la mitad de la resolución, esto es 0,5 g como el intervalo entre cada muestra, entonces:

$$n_{\text{Cu},0} = \frac{(14 - 0)}{0,5} = \frac{14}{0,5} = 28$$

$$n_{\text{Fe},0} = \frac{(48 - 0)}{0,5} = \frac{48}{0,5} = 96$$

$$N_0 = 28 \times 96 = 2688 \text{ muestras}$$

En el caso donde la precisión deba ser de un dígito decimal:

$$n_{Cu,1} = \frac{(14 - 0)}{0,05} = \frac{14}{0,05} = 280$$

$$n_{Fe,1} = \frac{(48 - 0)}{0,05} = \frac{48}{0,05} = 960$$

$$N_1 = 280 \times 960 = 268800 \text{ muestras}$$

El cual es un número bastante grande.

Es posible diseñar experimentos preliminares que permitan tener una noción de la exactitud de la medición a través del análisis estadístico del error, sin tener que recurrir a un gran número de muestras, seleccionando rangos de la malla.

Por ende, se diseñó un experimento que consiste en:

- Una malla expandida para el entrenamiento de la red neuronal, la cual abarca los rangos comunes de concentraciones de cobre y hierro en el PLS.
- Dos curvas de calibración del cobre y del hierro.
- Veintidós muestras de validación, las cuales tienen la función de contrastar la medición hecha por el multiespectro contra la técnica de absorción atómica.

La malla expandida consiste en dos zonas de concentraciones, con incrementos de 3,5 g/L:

- Cobre: de 0 a 14,0 g/L
- Hierro: de 0 a 24,0 g/L

Expansión:

- Cobre: de 0 a 7,0 g/L
- Hierro: de 24,0 a 48,0 g/L

La combinatoria abarca un número total de 37 muestras para esta parte del experimento. No obstante, no es garantía de exactitud ni de precisión, sino que es un análisis preliminar.

La curva de calibración de ambas especies es referida a cada compuesto químico precursor de los iones de cobre y hierro:

- $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$: desde 0 a 6,00 g/100 mL
- $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: desde 0 a 27,00 g/100 mL

En cada muestra, solo se considera una especie y el incremento es de 1,00 gramo de compuesto. De esta manera se obtienen 35 muestras.

Con respecto a las muestras de validación, se escogieron espaciadas dentro de la malla, con el fin de obtener valores representativos del error. Además, se escogieron muestras de similar composición química para evaluar el discernimiento de la red neuronal, frente al color de ellas. Para este conjunto de, se consideraron 22 muestras.

8. METODOLOGÍA

8.1. Configuración cámara, toma de video y obtención de fotografías.

El muestreo de este equipo usa algoritmos en base al programa ffmpeg, programa que permite establecer las configuraciones necesarias para la cámara usada, cámara que se encuentra incorporada en el actual prototipo del multiespectro. A su vez, el programa ffmpeg permite tomar fotografías y videos de acuerdo con las configuraciones establecidas y otras configuraciones que son incorporadas en el código asociado a ejecutar. Para finalizar, otra funcionalidad usada de este programa es la extracción de fotografías de los videos tomados a cada muestra y replica de cada muestra de validación analizada.

Para lograr lo descrito en el párrafo anterior, es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Descargar el programa de la página web (<https://ffmpeg.org/download.html>), teniendo claro el sistema operativo que se está usando. En el caso de los computadores con el sistema operativo asociados a Windows, se descarga una versión portable del programa como se muestra en la Figura 6. En esta oportunidad se explicará todo asociado a el sistema operativo Windows, sistema operativo que se usa para la toma de videos y obtención de fotografías posteriormente.

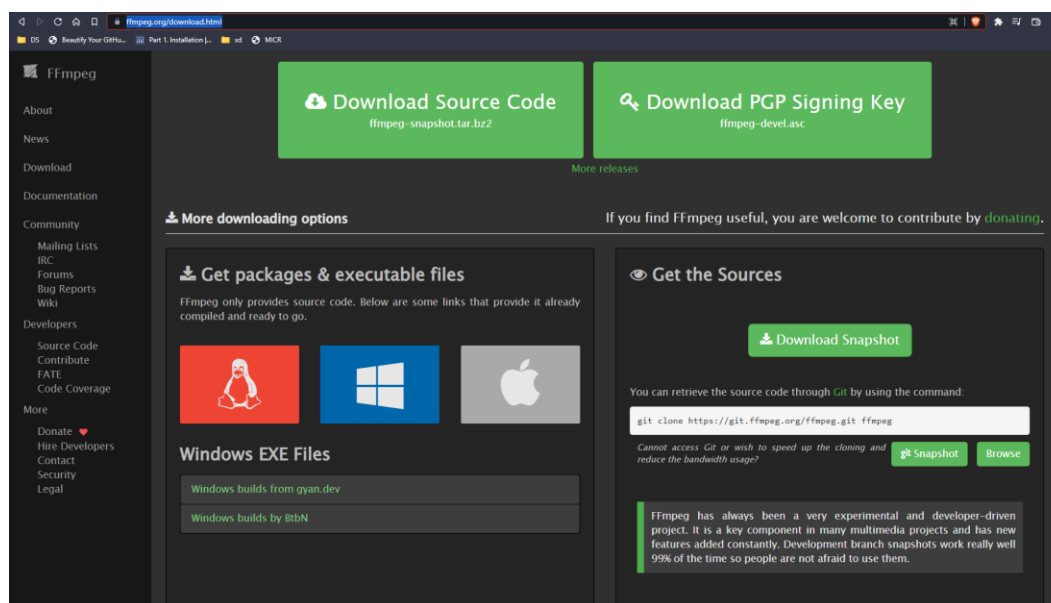


Figura 6. Página web de descarga del programa ffmpeg.

2. Posteriormente a su descarga, extraer los datos en la carpeta en donde se almacenarán los videos capturados.
3. Ahora, abrir el terminal de Windows usando la combinación Win + R, y luego abrir el programa cmd, como se muestra en la Figura 7.

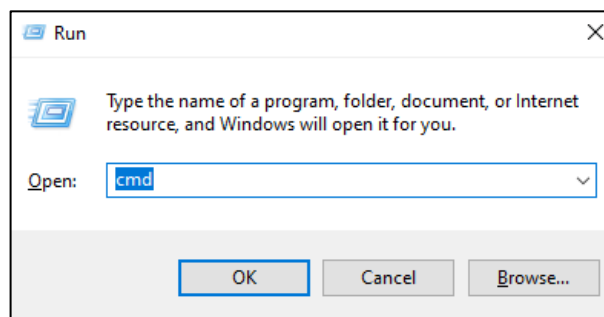


Figura 7. Operación de comando Win + R para ejecutar terminal de Windows.

4. De acuerdo con la Figura 8, con el comando “cd” se puede cambiar de dirección a la dirección donde se guardó el programa ffmpeg y se guardaran los videos.

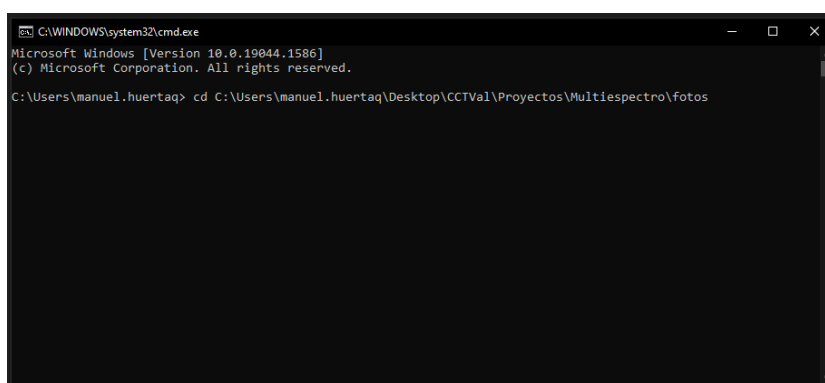


Figura 8. Cambio de carpeta en terminal de Windows.

5. Insertar el siguiente código:

```
ffmpeg -list_devices true -f dshow -i dummy -hide_banner
```

Y observar en la que se identifica la cámara del multiespectro, la cual se llama “HD USB Camera”.

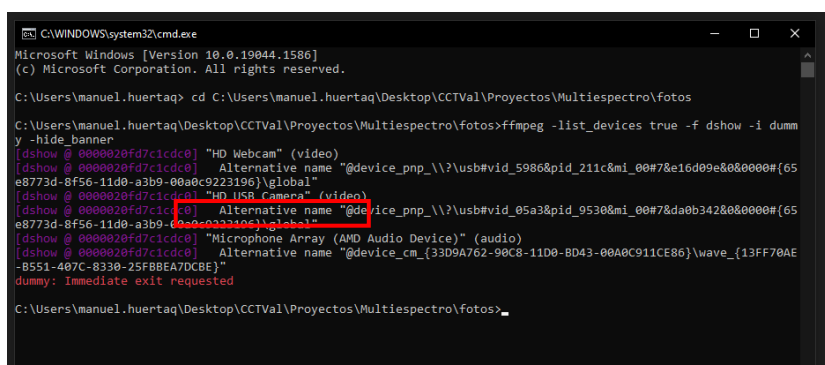


Figura 9. Identificar nombre de cámara de multiespectro.

6. Identificando la cámara del multispectro, se procede a copiar y pegar el siguiente código:

```
ffmpeg -f dshow -show_video_device_dialog true -i video="HD USB Camera" -t 120 -vf scale=1920:1080
video/DD-MM-AAAA/XXgL_YYgL_12V_NNN.mkv
```

Mostrado en la Figura 10 para la toma de los videos de cada una de las muestras a analizar.

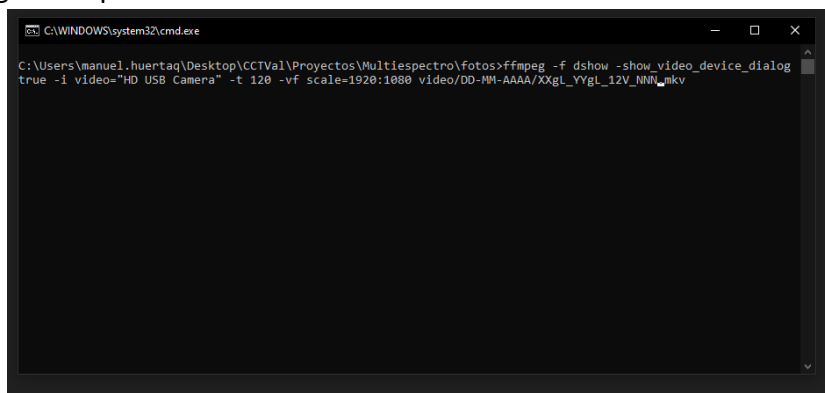


Figura 10. Código para toma de video para cada muestra.

Este código desglosa:

- En primer lugar, las configuraciones a usar con la cámara del multispectro, como se muestra en la Figura 11.
- Posteriormente, en el código se configura el tiempo de muestreo en segundo, considerando 2 minutos de medición (-t 120).
- Luego se define la resolución a la que la cámara tomara el video, con una resolución máxima de 1080p.
- Para finalizar, en el código se define la dirección en la que se guardarán cada uno de los videos, teniendo como ejemplo el mostrado en la Figura 10, donde se guarda en la carpeta video, y se crea previamente una subcarpeta con el día de la medición y dentro de esta carpeta se guarda el video en formato ".mkv" señalado la concentración de cobre XXgL, concentración de fierro YYgL, 12V asociados a la bomba y NNN que es el número de muestra.

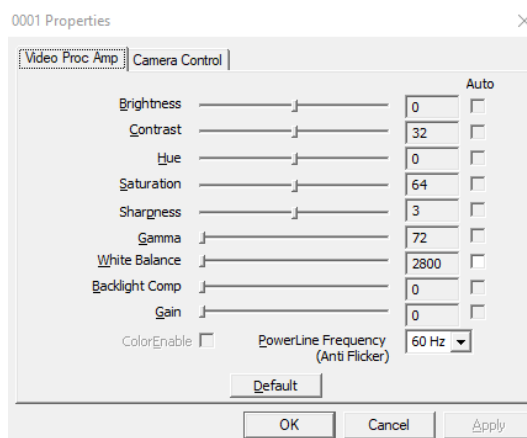


Figura 11. Configuración de cámara de multispectro con programa ffmpeg.

7. Finalmente, con la ayuda del lenguaje de programación Python se procede a obtener las imágenes de cada uno de los videos, como se muestra por ejemplo en la Figura 12 la obtención de imágenes para las muestras ciegas, obteniendo 5 fotos por segundo con una resolución de 1080p.

```
import os
from glob import glob
import io
import subprocess
import shlex
from subprocess import check_call

list_files = sorted(glob("video\\22-03-2022-minera\\*.mkv")) + sorted(glob("video\\21-03-2022-minera\\*.mkv"))

FPS = 5
for file_name in list_files:
    image_name = "imagenes\\test_data\\muestras_mineras\\"+file_name.split("\\")[-1].replace(".mkv", "_F%04d.png")
    command = f"ffmpeg -i "+file_name+" -vf fps={} ".format(FPS)+image_name
    print(command)
    subprocess.call(command,shell=True)
```

Figura 12. Proceso de obtención de imágenes provenientes de videos.

8.2. Proceso experimental de muestreo.

Se detalla la preparación que se utiliza manipular las muestras de Solución de lixiviación cargada o PLS:

1. Pesar $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ (sulfato de cobre pentahidratado) y $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ (sulfato de hierro heptahidratado) en vaso de precipitado de 100 mL. Esto de acuerdo con cálculos estimados, para la obtención de PLS (pregnant leaching solution) según la Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5, más 4 mediciones que corresponden a los PLS de Minera San Pedro y Minera Cerro Negro, considerando muestra filtrada y muestra sin filtrar.

Tabla 2. Concentraciones para curva calibración Cu^{+2} .

Nº medición	1	2	3	4	5	6	7
$[\text{Cu}^{+2}]$	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00

Tabla 3. Concentraciones para curva calibración Fe^{+2} .

Nº medición	$[\text{Fe}^{+2}]$	Nº medición	$[\text{Fe}^{+2}]$	Nº medición	$[\text{Fe}^{+2}]$
1	0.00	11	10.00	21	20.00
2	1.00	12	11.00	22	21.00
3	2.00	13	12.00	23	22.00
4	3.00	14	13.00	24	23.00
5	4.00	15	14.00	25	24.00
6	5.00	16	15.00	26	25.00
7	6.00	17	16.00	27	26.00
8	7.00	18	17.00	28	27.00
9	8.00	19	18.00		
10	9.00	20	19.00		

Tabla 4. Concentraciones mezclas de alimentación para la red neuronal.

Nº medición	Cu ⁺²	Fe ⁺²	Nº medición	ζ	Fe ⁺²	Nº medición	Cu ⁺²	Fe ⁺²
1	0	0	14	2.75	8.96	27	0	17.92
2	0	2.99	15	2.75	11.95	28	0	20.91
3	0	5.97	16	4.13	0	29	0	23.9
4	0	8.96	17	4.13	2.99	30	1.38	14.94
5	0	11.95	18	4.13	5.97	31	1.38	17.92
6	1.38	0	19	4.13	8.96	32	1.38	20.91
7	1.38	2.99	20	4.13	11.95	33	1.38	23.9
8	1.38	5.97	21	5.5	0	34	2.75	14.94
9	1.38	8.96	22	5.5	2.99	35	2.75	17.92
10	1.38	11.95	23	5.5	5.97	36	2.75	20.91
11	2.75	0	24	5.5	8.96	37	2.75	23.9
12	2.75	2.99	25	5.5	11.95			
13	2.75	5.97	26	0	14.94			

Tabla 5. Concentraciones mezclas de validación de la red neuronal.

Nº medición	Cu ⁺²	Fe ⁺²	Nº medición	Cu ⁺²	Fe ⁺²
1	0.39	0.50	11	1.81	10.36
2	0.59	3.73	12	2.08	10.31
3	0.79	9.96	13	2.16	10.21
4	1.77	11.20	14	2.28	26.39
5	2.36	26.39	15	2.63	12.45
6	3.54	26.39	16	2.71	9.46
7	0.43	0.55	17	2.99	24.89
8	0.51	4.58	18	2.91	8.96
9	0.71	9.46	19	0.12	22.90
10	1.73	10.55	20	0.24	23.40

- Mezclar y preparar las cantidades de Cu y Fe, según corresponda al número de muestra, adicionar agua desionizada, para ayudar a disolver y se coloca en agitador magnético con placa calefactora.
- Adicionar 20 mL de H₂SO₄ una vez este disuelta la mezcla, medido con pipeta graduada, al interior del vaso, añadiendo lentamente para evitar salpicaduras que puedan generar quemaduras y/o pérdida de la muestra en preparación. Además, la reacción entre el agua y ácido es altamente exotérmica. (esto debiera realizarse bajo campana).
- Trasvasijar la muestra desde el vaso precipitado de 100mL a un matraz aforado de 100 mL.

5. Dejar reposar las muestras hasta que terminen de reaccionar y descienda su temperatura, para finalmente aforar luego de 24 horas. Esto una vez preparadas las combinatorias definidas por cálculos estequiométricos.
6. Repetir los pasos 1 al 5 con cada una de las muestras.
7. Posteriormente, tomar matraz aforado de 100 mL, agitar para homogenizar y ambientar 3 veces la celda de cuarzo de 3,5 mL de capacidad, luego se carga y se monta en cubículo.
8. Cerrar la caja oscura del multiespectro para su lectura y proceder a la lectura, mediante sistema de software, que captura un video, para luego obtener las imágenes y procesar la información para alimentar a la red neuronal.
9. Eliminar la muestra, ambientar la celda por 3 veces y repetir los pasos desde el 7 al 9, esto en triplicado con cada muestra.
10. Retirar del cubículo la celda y lavar con agua destilada con pizeta, esto después de terminar el triplicado de la muestra. Finalmente, proceder a leer otra muestra de distinta concentración.
11. Preparar en fuente de acero solución de agua potable más ácido nítrico con una concentración del 10 % v/v.
12. Lavar los materiales usados (material de vidrio, tapas de teflón y plástico) con agua desionizada.
13. Sumergir estos por un mínimo de 3 horas (la fuente se deja cubierta con tapa de acero inoxidable e identificada para advertir por riesgos de su contenido ácido, esto debería dejarse y manipular bajo campana) los materiales lavados.
14. Enjuagar el material con agua potable y volver a enjuagar con agua desionizada.
15. Finalmente, dejar estilar en bandeja de acero inoxidable y secar con secador de cabello (esta etapa debería realizarse en estufa a 20 °C).

9. REFERENCIAS

- Harris, D. (2016). *Análisis químico Cualitativo*. Alicante, España: REVERTÉ.
- Latorre, D. (2010). *Diseño y evaluación de un método para remover impurezas desde soluciones de lixiviación, mediante sobresaturación sulfurica*. Valparaíso : PUCV .
- Leiva, M. (2011). *Desarrollo de instrumento prototipo basado en un modelo de redes neuronales*. Antofagasta, Chile : UCN .
- Salgado, F. (2017). *Desarrollo de modelo predictivo para la recuperación de cobre en proceso de*. Antofagasta, Chile : UCN .