



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN METALURGIA

**CARACTERIZACION DE CUARZO Y ORTOCLASA MEDIANTE
ANGULO DE CONTACTO Y FLOTACION DESDE RELAVES DE LA
PLANTA MANUEL ANTONIO MATTA RUIZ**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener
el Título de Ingeniero Ejecución en Metalurgia

Profesor guía: Dr. Luis Valderrama Campusano

Luis Alberto Chaca Miranda

Copiapó, Chile 2023



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN METALURGIA

**CARACTERIZACION DE CUARZO Y ORTOCLASA MEDIANTE
ANGULO DE CONTACTO Y FLOTACION DESDE RELAVES DE LA
PLANTA MANUEL ANTONIO MATTA RUIZ**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener
el Título de Ingeniero Ejecución en Metalurgia

Profesor guía: Dr. Luis Valderrama Campusano

Comisión: Dr. Osvaldo Pavés

Ing. Ivonne López

Luis Alberto Chaca Miranda

Copiapó, Chile 2023

AGRADECIMIENTOS

La emoción y la alegría desbordan mi corazón mientras escribo estas palabras de agradecimiento por este emocionante viaje de mi tesis. Cada línea escrita y cada descubrimiento han sido un paso más hacia la realización de un sueño que hoy celebro con gratitud y alegría desbordante.

Con estima y respeto, deseo expresar mi profundo agradecimiento a aquellos que fueron pilares fundamentales en la culminación de este proyecto de investigación.

A mi profesor guía, por su orientación y su paciencia infinita, además del compromiso constante con mi crecimiento académico. Sus colaboración y discusiones profundas han enriquecido cada faceta de esta tesis, fue un privilegio y valoro enormemente nuestra interacción compartida.

A mis familiares y amigos, sus sonrisas alentadoras, sus oídos pacientes y sus palabras llenas de aliento han sido mi combustible en los momentos más difíciles. Agradezco su fe puesta en mí.

A todo el personal del departamento de metalurgia que fueron parte de este viaje académico, agradecido por su colaboración y disposición.

Y mención especial a mi hijo Maximiliano por su incondicional amor, eres mi fuente de motivación e inspiración para superar todos mis desafíos.

En este contexto, me permito expresar mi aprecio con la más alta deferencia. Con vuestras contribuciones han hecho posible la realización de este esfuerzo académico, y es con el más profundo respeto y gratitud que digo gracias.

RESUMEN

Este trabajo de titulación tiene como objetivo analizar el comportamiento metalúrgico de minerales (cuarzo y ortoclasa) y verificar la factibilidad o beneficio de la recuperación de ortoclasa provenientes de relaves de minerales de cobre sulfurado. Previamente a la ejecución de las pruebas metalúrgicas, se comenzó con la inspección de bibliografías que hacían referencia al estado del arte del ángulo de contacto, flotabilidad de cuarzo en presencia del colector tipo amina, flotación de feldespatos, como también la recuperación y caracterización de minerales provenientes de relaves de cobre. El relave analizado nace de la planta Manuel Antonio Matta Ruiz, de la Empresa Nacional de Minería. Se tomaron muestras de cuarzo y ortoclasas puras para la confección de briquetas. Se prepararon tres soluciones de hexamina a concentraciones 1×10^{-3} M, 1×10^{-4} M y 5×10^{-4} M, para la determinación del ángulo de contacto por el método del goniómetro, variando el pH entre 2, 4, 6, 8 y 10. Para la ortoclasa los valores de los ángulos de contacto incrementan de pH ácidos a básicos. El valor más alto fue de $73,6^\circ$ para las concentraciones de reactivos de 1×10^{-3} M y 5×10^{-4} M a pH 8. En el caso del cuarzo tanto su sección basal como transversal, mientras más básico es el pH mayor es el ángulo de contacto, siendo cero para pH ácidos para las distintas concentraciones de reactivo. Los mayores valores de los ángulos de contacto para la sección basal fueron de 75° y $74,8^\circ$ a pH 10 a concentración de reactivo de 1×10^{-3} M y para la sección transversal fueron $68,3^\circ$ en promedio para las tres concentraciones a pH 10. La muestra de relave extraída de la planta Manuel Antonio Matta Ruiz, fue caracterizada por análisis granulométrico, análisis químico, análisis mineralógico y difracción de rayos X. Preliminar a las pruebas de flotación, se retiró el hierro magnético mediante concentración magnética y el material no magnético fue tratado en el concentrador Knelson para la recuperación de pirita y otros minerales denso, para finalizar fue deslamado. En función de los resultados obtenidos en la medición del ángulo de contacto, se determinó realizar tres pruebas de flotación a distintos pH. Los pH elegidos fueron 3, 4 y 6, usando una dosis del colector hexamina de 200 g/t y de fluoruro de sodio de 400 g/t, obteniendo que a medida que el pH se hace más neutro la recuperación de ortoclasa se incrementa, alcanzando a pH 6 un valor máximo de 41,6%. En el caso del cuarzo su porcentaje de recuperación no es tan significativa a los distintos pH elegidos, esto se debe al efecto del depresor, obteniendo a pH 4 su mayor porcentaje de recuperación con un 19,3%. Se demostró que, al utilizar los reactivos nombrados, se logró el objetivo de dividir la ortoclasa del cuarzo. Logrando a pH 6 una recuperación de K_2O de un 41,6% y una recuperación de SiO_2 de 14,4%.

Palabras claves:

- Angulo de contacto
- Flotación
- Recuperación
- Relaves

ABSTRACT

This titling work aims to analyze the metallurgical behavior of minerals (quartz and orthoclase) and verify the feasibility or benefit of orthoclase recovery from tailings of sulphide copper minerals. The work strategy began previously with the inspection of bibliographies that made reference to the state of the art of the contact angle, quartz floatation in the presence of the hexamine collector, feldspar floatation, as well as the recovery and characterization of minerals from copper tailings. The analyzed tailings originate from the Manuel Antonio Matta Ruiz plant, of the National Mining Company. Samples of pure quartz and orthoclase were taken for the preparation of briquettes. Three hexamine solutions were prepared at concentrations 1×10^{-3} M, 1×10^{-4} M and 5×10^{-4} M, for the determination of the contact angle by the gionometer method, varying the pH between 2, 4, 6, 8 and 10. For orthoclase the values of contact angles increase from acidic to basic pH. The highest value was 73.6° for the reagent concentrations of 1×10^{-3} M and 5×10^{-4} M at pH 8. In the case of quartz, both its basal and cross section, the more basic the pH, the higher the contact angle, being zero for acidic pH for the different reagent concentrations. The highest values of the contact angles for the basal section were 75° and 74.8° at pH 10 at a reagent concentration of 1×10^{-3} M and for the cross section they were 68.3° on average for the three concentrations at pH 10. The tailings sample extracted from the Manuel Antonio Matta Ruiz plant was characterized by granulometric analysis, chemical analysis, mineralogical analysis and X-ray diffraction. Prior to the floatation tests and thanks to previous studies carried out on these tailings, the iron was removed magnetic by means of magnetic concentration and the non-magnetic material was treated in the Knelson concentrator, for the recovery of pyrite and other dense minerals, to finish it was deslimed. Based on the results obtained in the measurement of the contact angle, it was determined to carry out three floatation tests at different pH. The pH chosen were 3, 4 and 6, using a dose of 200 g/t of the hexamine collector and 400 g/t of sodium fluoride, obtaining that as the pH becomes more neutral the recovery of orthoclase increases, reaching at pH 6 a maximum value of 41.6%. In the case of quartz, its recovery percentage is not so significant at the different pH chosen, this is due to the effect of the depressant, obtaining its highest recovery percentage at pH 4 with 19.3%. It was shown that, using the named reagents, the goal of splitting orthoclase from quartz was achieved. Achieving at pH 6 an orthoclase recovery of 41.6% and a quartz recovery of 14.4%.

Keywords:

- Contact angle
- Flotation
- Recovery
- Tailings

ÍNDICE

1.	INTRODUCCION.....	1
1.1	Antecedentes generales	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo general	2
1.2.2	Objetivos específicos	2
1.3	Motivación	2
1.4	Delimitaciones	2
2.	ASPECTOS TEORICOS.....	3
2.1	Feldespatos.....	3
2.2	Ortoclasa	3
2.3	Cuarzo	4
2.4	Tensión superficial o energía libre superficial.....	5
2.5	Angulo de Contacto	6
2.6	Tipos de medición para ángulos de contacto	8
2.6.1	Medición directa por goniómetro	8
2.6.2	Método de la burbuja cautiva	10
2.6.3	Método de la placa basculante.....	10
2.6.4	Método de balance de Wilhelmy	11
2.6.5	Aumento capilar en una placa Vertical.....	12
2.6.6	Tubo capilar	13
2.6.7	Análisis de la forma de la gota	14
2.7	Mojabilidad.....	15
2.7.1	Influencia de la mojabilidad en la flotación	18
2.8	Flotación de minerales	19
2.8.1	Flotación de feldespatos	19
2.9	Relaves.....	21
2.10	Recuperación de minerales de relaves de cobre.	21
3.	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	24
3.1	Obtención de las muestras	24
3.2	Equipos y Metodología.....	24
3.2.1	pH metro, ORP y temperatura	24
3.2.2	El goniómetro Modelo 190 CA ramé-hart.....	25
3.2.3	Medición de ángulo de contacto.....	26
3.3	Flotación de relave.....	28

3.3.1	Obtención de muestras.....	28
3.3.2	Determinación del peso específico	28
3.3.3	Análisis granulométrico.....	29
3.3.4	Análisis químico	29
3.3.5	Análisis mineralógico	30
3.3.6	Reactivos	30
3.3.7	Pruebas de flotación.....	31
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	34
4.1	Caracterización de las muestras	34
4.1.1	Análisis químico de la ortoclasa, cuarzo y relave	34
4.1.2	Análisis de difracción de rayos X.....	35
4.1.3	Análisis mineralógico	36
4.1.4	Análisis granulométrico.....	36
4.1.5	Peso específico	36
4.2	Resultados para las pruebas de ángulo de contacto	37
4.2.1	Medición de ángulos de contacto para la ortoclasa en presencia del reactivo hexamina	37
4.2.2	Medición de los ángulos de contacto para el cuarzo de sección basal en presencia del reactivo hexamina	38
4.2.3	Medición de los ángulos de contacto para el cuarzo de sección transversal en presencia del reactivo hexamina	40
4.2.4	Resultados para las pruebas de flotación	42
5.	CONCLUSIONES.....	47
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	48
7.	ANEXO	52
7.1	Anexo A.....	52
7.1.1	Cálculos de peso de mineral, pulpa y dosificación de reactivos para la flotación.....	52
7.2	Anexo B	53
7.2.1	Tablas de las mediciones de ángulo de contacto	53
7.3	Anexo C	105
7.3.1	Imágenes medición de ángulo de contacto	105
7.4	Anexo D.....	147
7.4.1	Promedio de los ángulos y desviación estándar	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Representación de las interacciones intermoleculares en la interfase líquido-aire y en el seno de un líquido	6
Figura N° 2.2 Gota de líquido sobre una superficie sólida en contacto con vapor de aire, formando un ángulo de contacto en el vértice de las tres interfaces	7
Figura N° 2.3 Esquema del ángulo que forma una gota de agua, en una superficie hidrofóbica e hidrofílica, comparando sus propiedades superficiales	8
Figura N° 2.4 Ilustración del método de la placa basculante	11
Figura N° 3.1 Formula estructural hexamina	30
Figura N° 3.2 Celda Denver Metso D-12	31
Figura N° 4.1 Difracción de rayos X de la ortoclasa	¡Error! Marcador no definido.
Figura N° 4.2 Difracción de rayos X del cuarzo	¡Error! Marcador no definido.
Figura N° 4.3 Valores de los ángulos de contacto de la ortoclasa en función del pH en presencia del colector hexamina a tres diferentes molaridades	38
Figura N° 4.4 Valores de los ángulos de contacto de cuarzo de sección basal en función del pH, en presencia del colector hexamina a tres diferentes molaridades	40
Figura N° 4.5 Valores de los ángulos de contacto de cuarzo de sección transversal en función del pH, en presencia del colector hexamina a tres diferentes molaridades	42
Figura N° 4.6 Representación gráfica del porcentaje de recuperación y leyes, de los elementos SiO ₂ y K ₂ O en función del pH, en presencia del colector hexamina y fluoruro de sodio ...	45
Figura N° 7.1 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 2 y concentración 1x10 ⁻³ M de hexamina	105
Figura N° 7.2 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 2 y concentración 1x10 ⁻³ M de hexamina.....	105
Figura N° 7.3 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 2 y concentración 1x10 ⁻³ M de hexamina	106
Figura N° 7.4 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 4 y concentración 1x10 ⁻³ M de hexamina	106
Figura N° 7.5 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 4 y concentración 1x10 ⁻³ M de hexamina.....	107
Figura N° 7.6 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 4 y concentración 1x10 ⁻³ M de hexamina.....	107
Figura N° 7.7 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 6 y concentración 1x10 ⁻³ M de hexamina.....	108
Figura N° 7.8 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 6 y concentración 1x10 ⁻³ M de hexamina.....	108
Figura N° 7.9 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 6 y concentración 1x10 ⁻³ M de hexamina.....	109
Figura N° 7.10 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 8 y concentración 1x10 ⁻³ M de	

hexamina.....	109
Figura N° 7.11 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	110
Figura N° 7.12 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	110
Figura N° 7.13 Burbuja de medicion N° 1 para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	111
Figura N° 7.14 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	111
Figura N° 7.15 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	112
Figura N° 7.16 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	112
Figura N° 7.17 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	113
Figura N° 7.18 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	113
Figura N° 7.19 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	114
Figura N° 7.20 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	114
Figura N° 7.21 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	115
Figura N° 7.22 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	115
Figura N° 7.23 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	116
Figura N° 7.24 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	116
Figura N° 7.25 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 6 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	117
Figura N° 7.26 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 6 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	117
Figura N° 7.27 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 6 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	118
Figura N° 7.28 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	118
Figura N° 7.29 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	119
Figura N° 7.30 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M hexamina.....	119

Figura N° 7.31 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	120
Figura N° 7.32 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	120
Figura N° 7.33 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	121
Figura N° 7.34 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	121
Figura N° 7.35 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	122
Figura N° 7.36 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	122
Figura N° 7.37 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	123
Figura N° 7.38 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	123
Figura N° 7.39 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	124
Figura N° 7.40 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	124
Figura N° 7.41 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	125
Figura N° 7.42 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	125
Figura N° 7.43 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 10, concentración 1×10^{-3} M de hexamina	126
Figura N° 7.44 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 10, concentración 1×10^{-3} M de hexamina	126
Figura N° 7.45 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 10, concentración 1×10^{-3} M de hexamina	127
Figura N° 7.46 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina	127
Figura N° 7.47 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina	128
Figura N° 7.48 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina	128
Figura N° 7.49 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina	129
Figura N° 7.50 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina	129
Figura N° 7.51 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 10 y concentración 5×10^{-4}	

M de hexamina	130
Figura N° 7.52 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-4}	
M de hexamina	130
Figura N° 7.53 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-4}	
M de hexamina	131
Figura N° 7.54 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-4}	
M de hexamina	131
Figura N° 7.55 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-4}	
M de hexamina	132
Figura N° 7.56 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-4}	
M de hexamina	132
Figura N° 7.57 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-4}	
M de hexamina	133
Figura N° 7.58 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 1×10^{-3}	
M de hexamina	133
Figura N° 7.59 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 1×10^{-3}	
M de hexamina	134
Figura N° 7.60 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 1×10^{-3}	
M de hexamina	134
Figura N° 7.61 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 1×10^{-3}	
M de hexamina	135
Figura N° 7.62 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 1×10^{-3}	
M de hexamina	135
Figura N° 7.63 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 1×10^{-3}	
M de hexamina	136
Figura N° 7.64 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-3}	
M de hexamina	136
Figura N° 7.65 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-3}	
M de hexamina	137
Figura N° 7.66 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-3}	
M de hexamina	137
Figura N° 7.67 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-3}	
M de hexamina	138
Figura N° 7.68 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-3}	
M de hexamina	138
Figura N° 7.69 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-3}	
M de hexamina	139
Figura N° 7.70 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 5×10^{-4}	
M de hexamina	139
Figura N° 7.71 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 5×10^{-4}	
M de hexamina	140

Figura N° 7.72 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina	140
Figura N° 7.73 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina	141
Figura N° 7.74 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina	141
Figura N° 7.75 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina	142
Figura N° 7.76 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina	142
Figura N° 7.77 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina	143
Figura N° 7.78 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina	143
Figura N° 7.79 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina	144
Figura N° 7.80 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina	144
Figura N° 7.81 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina	145
Figura N° 7.82 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina	145
Figura N° 7.83 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina	146
Figura N° 7.84 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 4.1 Composición química de la ortoclasa	34
Tabla N° 4.2 Composición química del cuarzo.....	34
Tabla N° 4.3 Análisis químico del relave de alimentación a la flotación	34
Tabla N° 4.4 Análisis granulométrico del relave	36
Tabla N° 4.5 Valores de los ángulos de contacto para ortoclasa, a molaridades 1×10^{-3} M, 1×10^{-4} M y 5×10^{-4} M y a pH 2, 4, 6, 8 y 10.....	37
Tabla N° 4.6 Valores de los ángulos de contacto para cuarzo basal, a molaridades 1×10^{-3} M, 1×10^{-4} M y 5×10^{-4} M y a pH 2, 4, 6, 8 y 10.....	39
Tabla N° 4.7 Valores de los ángulos de contacto para cuarzo transversal, a molaridades 1×10^{-3} M, 1×10^{-4} M y 5×10^{-4} M y a pH 2, 4, 6, 8 y 10.....	41
Tabla N° 4.8 Resultados de análisis químico de la prueba de flotación a pH 3.....	43
Tabla N° 4.9 Resultados de recuperación de la prueba de flotación a pH 3	43
Tabla N° 4.10 Resultados de análisis químico de la prueba de flotación a pH 4.....	44
Tabla N° 4.11 Resultados de recuperación de la prueba de flotación a pH 4	44
Tabla N° 4.12 Resultados de análisis químico de la prueba de flotación a pH 6.....	44
Tabla N° 4.13 Resultados de recuperación de la prueba de flotación a pH 6	45
Tabla N° 7.1 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 2 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	54
Tabla N° 7.2 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 2 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	54
Tabla N° 7.3 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 2 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	55
Tabla N° 7.4 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	55
Tabla N° 7.5 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	56
Tabla N° 7.6 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	56
Tabla N° 7.7 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	57
Tabla N° 7.8 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	57
Tabla N° 7.9 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina	58
Tabla N° 7.10 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 8 y concentración	

1x10 ⁻³ M de hexamina	58
Tabla N° 7.11 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 8 y concentración 1x10 ⁻³ M de hexamina	59
Tabla N° 7.12 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 8 y concentración 1x10 ⁻³ M de hexamina	59
Tabla N° 7.13 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 10 y concentración 1x10 ⁻³ M de hexamina.....	60
Tabla N° 7.14 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 10 y concentración 1x10 ⁻³ M de hexamina.....	60
Tabla N° 7.15 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 10 y concentración 1x10 ⁻³ M de hexamina.....	61
Tabla N° 7.16 Medición del ángulo de contacto para ortoclase a pH 2 y concentración 5x10 ⁻⁴ M de hexamina	61
Tabla N° 7.17 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 4 y concentración 5x10 ⁻⁴ M de hexamina	62
Tabla N° 7.18 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 6 y concentración 5x10 ⁻⁴ M de hexamina	62
Tabla N° 7.19 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 6 y concentración 5x10 ⁻⁴ M de hexamina	63
Tabla N° 7.20 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 6 y concentración 5x10 ⁻⁴ M de hexamina	63
Tabla N° 7.21 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 8 y concentración 5x10 ⁻⁴ M de hexamina	64
Tabla N° 7.22 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 8 y concentración 5x10 ⁻⁴ M de hexamina	64
Tabla N° 7.23 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 8 y concentración 5x10 ⁻⁴ M de hexamina	65
Tabla N° 7.24 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 10 concentración 5x10 ⁻⁴ M de hexamina	65
Tabla N° 7.25 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 10 concentración 5x10 ⁻⁴ M de hexamina	66
Tabla N° 7.26 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 10 concentración 5x10 ⁻⁴ M de hexamina	66
Tabla N° 7.27 Medición del ángulo de contacto para ortoclase a pH 2 y concentración 1x10 ⁻⁴ M de hexamina	67
Tabla N° 7.28 Medición del ángulo de contacto para ortoclase a pH 4 y concentración 1x10 ⁻⁴ M de hexamina	67
Tabla N° 7.29 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclase a pH 6 y concentración 1x10 ⁻⁴ M de hexamina	68

Tabla N° 7.30 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 6 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina	68
Tabla N° 7.31 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 6 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina	69
Tabla N° 7.32 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina	69
Tabla N° 7.33 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina	70
Tabla N° 7.34 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina	70
Tabla N° 7.35 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	71
Tabla N° 7.36 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	71
Tabla N° 7.37 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	72
Tabla N° 7.38 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 2 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	72
Tabla N° 7.39 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	73
Tabla N° 7.40 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	73
Tabla N° 7.41 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	74
Tabla N° 7.42 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	74
Tabla N° 7.43 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	75
Tabla N° 7.44 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	75
Tabla N° 7.45 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	76
Tabla N° 7.46 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	76
Tabla N° 7.47 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	77
Tabla N° 7.48 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	77
Tabla N° 7.49 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y	

concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	78
Tabla N° 7.50 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	78
Tabla N° 7.51 Medición del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 2 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	79
Tabla N° 7.52 Medición del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 4 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	79
Tabla N° 7.53 Medición del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	80
Tabla N° 7.54 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	80
Tabla N° 7.55 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	81
Tabla N° 7.56 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	81
Tabla N° 7.57 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	82
Tabla N° 7.58 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	82
Tabla N° 7.59 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	83
Tabla N° 7.60 Medición del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 2 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	83
Tabla N° 7.61 Medición del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 4 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	84
Tabla N° 7.62 Medición del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 6 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	84
Tabla N° 7.63 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	85
Tabla N° 7.64 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	85
Tabla N° 7.65 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	86
Tabla N° 7.66 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	86
Tabla N° 7.67 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	87
Tabla N° 7.68 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	87

Tabla N° 7.69 Medición del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 2 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	88
Tabla N° 7.70 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	88
Tabla N° 7.71 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	89
Tabla N° 7.72 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	89
Tabla N° 7.73 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	90
Tabla N° 7.74 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	90
Tabla N° 7.75 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	91
Tabla N° 7.76 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	91
Tabla N° 7.77 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	92
Tabla N° 7.78 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	92
Tabla N° 7.79 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	93
Tabla N° 7.80 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	93
Tabla N° 7.81 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.....	94
Tabla N° 7.82 Medición del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 2 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	94
Tabla N° 7.83 Medición del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	95
Tabla N° 7.84 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	95
Tabla N° 7.85 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	96
Tabla N° 7.86 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	96
Tabla N° 7.87 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	97
Tabla N° 7.88 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y	

concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	97
Tabla N° 7.89 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	98
Tabla N° 7.90 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	98
Tabla N° 7.91 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	99
Tabla N° 7.92 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.....	99
Tabla N° 7.93 Medición del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 2 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	100
Tabla N° 7.94 Medición del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	100
Tabla N° 7.95 Medición del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	101
Tabla N° 7.96 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	101
Tabla N° 7.97 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	102
Tabla N° 7.98 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	102
Tabla N° 7.99 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	103
Tabla N° 7.100 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	103
Tabla N° 7.101 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.....	104

1. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes generales

Chile es el mayor productor de cobre en el mundo. Su producción va proporcional con los relaves generados dentro del país. Sin duda estos forman parte de uno de los mayores problemas dentro de las empresas mineras. Se ha estimado, que en Chile las faenas mineras actuales generan relaves a una tasa de 530 millones de toneladas al año, que cubren extensas áreas y que han acumulado hasta el presente aproximadamente 24 mil millones de toneladas en el territorio nacional (calculado desde el Catastro Nacional de Depósitos de Relaves vigente) ((SERNAGEOMIN), 2021).

Debido al gran impacto ambiental se formó la idea de esta investigación, la cual logra recuperar subproductos disminuyendo el volumen del tranque de relaves de la planta Manuel Antonio Matta Ruiz, generando una diversificación para el mercado, desarrollando una alternativa viable considerando la granulometría y el mantenimiento de estos.

La mayoría de los relaves de cobre contienen una gran cantidad de pirita, magnetita, oro, plata, cobre, titanio, feldespato, cuarzo y tierras raras. Al no estabilizarse adecuadamente estos relaves con el tiempo podrían generar aguas ácidas como resultado de la oxidación de los sulfuros residuales ((SERNAGEOMIN), 2018).

El objetivo de esta investigación es la recuperación de la ortoclasa que se encuentra presente en los relaves de cobre de la planta Manuel Antonio Matta Ruiz. Se investigó el comportamiento de los minerales de cuarzo y ortoclasa en presencia del colector hexamina, por medio de un estudio de ángulo de contacto y flotación.

Con muestras de relave sin presencia de minerales de fierro magnético ni tampoco de pirita, se realizaron pruebas de flotación con la finalidad de la separación de la ortoclasa y el cuarzo al momento de ser flotados, con un colector tipo amina y el depresor fluoruro de sodio. Obteniendo como resultado un concentrado de ortoclasa y un relave rico en cuarzo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Recuperar feldespato (ortoclasa) de relaves provenientes de la planta Manuel Antonio Matta Ruiz por el proceso de flotación.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar física, química, mineralógicamente las muestras de feldespato y cuarzo y el relave del beneficio de cobre.
- Determinar el ángulo de contacto de la ortoclasa y cuarzo a diferentes concentraciones del reactivo hexamina y distintos pH.
- Separar por flotación el cuarzo de la ortoclasa contenido en el relave usando hexamina como colector y fluoruro de sodio de depresante.

1.3 Motivación

Sin duda la mayor motivación de este estudio va dirigido al medio ambiente, disminuir la contaminación y recuperar subproductos de los tranques de relaves resulta totalmente beneficioso, teniendo en consideración la granulometría que se encuentran los subproductos y el mantenimiento de estos. Obtener buenos resultados generaría un mayor interés en los relaves, además de diversificar estos.

1.4 Delimitaciones

El enfoque de esta investigación es evaluar reactivos, para la flotación de ortoclasa y la depresión del cuarzo. La investigación consta de dos etapas de estudio, la primera la medición del ángulo de contacto para los dos minerales a distintas dosificaciones y variando su pH. La segunda parte va enfocada en la flotación, con los reactivos hexamina y fluoruro de sodio, variando pH para encontrar la mejor recuperación y separación de los minerales ortoclasa y cuarzo.

2. ASPECTOS TEORICOS

2.1 Feldespatos

Los feldespatos, son minerales pertenecientes al grupo de silicatos de aluminio, que pueden ser clasificados de acuerdo con su contenido. Están los formados por potasio, que corresponde a la ortoclasa y la microclina; y los sódico-calcio, que son las plagioclasas, estas representan una serie que varían de un extremo sódico albita, hasta uno rico en calcio anortita; además de sus componentes intermedios: oligoclasa, andesina, labradorita y bytownita ((SERNAGEOMIN), 2021).

Por sus propiedades físicas y químicas, los feldespatos son materia prima fundamentalmente en la fabricación de cerámica y en la fabricación de vidrio. También se puede utilizar como abrasivos ((SERNAGEOMIN), 2021).

Los feldespatos son un grupo de minerales aluminosilicatos de potasio, sodio y calcio [ortoclasa (KAlSi_3O_8), albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) y anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)], que corresponden en volumen a 60 % de la corteza terrestre. Los feldespatos tienen propiedades físicas muy similares, sin embargo, debido a su composición química, se agrupan en: feldespato potásico (ortoclasa, microclina, sanidina, adularia), feldespato bario (celsiano) y feldespato cálcico-sódico. La concentración de los feldespatos se puede realizar por flotación y/o separación magnética para eliminar el cuarzo y los minerales asociados.

También hay un grupo de minerales químicamente similares a los feldespatos, llamados feldespatoideos, se diferencian sin embargo de los feldespatos en que contienen menos sílice. Los feldespatoideos son aluminosilicatos de potasio, sodio y calcio, como elementos principales, pero con menores cantidades de otros iones. Los feldespatoideos más frecuentes son la leucita KSi_2O_6 y nefelina $(\text{Na,K})\text{AlSiO}_4$. La nefelina es la especie más común de feldespatoideos, puede ocurrir en rocas ígneas, tanto plutónicas como volcánicas.

2.2 Ortoclasa

La ortoclasa pertenece a la clase silicato, subclase tectosilicatos, se encuentra en forma de cristales prismáticos o tabulares que a menudo son maclados. Se forman en muchas

rocas ígneas y metamórficas; pero también se puede encontrar en algunas sedimentarias. Es blanca, rojiza, incolora, amarilla, gris o verde. Su fórmula química es $KAlSi_3O_8$, su dureza varía entre 6 a 6,5 en la escala de Mohs y la densidad 2,5 kg/L, cristaliza en el sistema monoclinico.

La ortoclasa, es un importante feldespato, el cual proporciona mayor resistencia a los materiales, ajusta la resistencia a la tensión y la elasticidad, mejora la dureza, reduce la conductividad eléctrica, durabilidad y modelo de ruptura son mejoradas (SE, 2022) . La ortoclasa es insoluble en ácidos, y casi no funde (Pellant, 1993).

2.3 Cuarzo

El cuarzo es el mineral más abundante de la corteza terrestre. Es un óxido de silicio de fórmula SiO_2 de dureza 7 en la escala de Mohs, que se da en forma de prisma hexagonal terminado con forma romboédrica o de pirámides. Es encontrado en la naturaleza bajo las formas polimorfas: cuarzo, tridimita y cristobalita.

El cuarzo es el más común de los polimorfos y gracias a los cristales grandes, transparentes y bien formados, es conocido desde los tiempos antiguos. Las principales variedades cristalinas del cuarzo son el cristal de roca, cuarzo lechoso, ahumado, rojo (amatista), negro (sardo), verde (plasma), etc. Estas variedades son usadas como gemas y ornamentación.

El cuarzo es un mineral transparente a translucido, y tiene brillo vítreo en las superficies frescas. Su formación es en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias y se puede encontrar en filones minerales con menas metálicas. El cuarzo se asocia frecuentemente con otros minerales, como feldespato, talco, pirita, hematita, smithsonita y apatita. Es insoluble, excepto con el ácido fluorhídrico (Pellant, 1993).

El cuarzo cristal de roca es utilizado en distintas aplicaciones tecnológicas como son la industria espacial, óptica, electrónica y aeronáutica. Además, el cuarzo se puede encontrar en forma de masas cristalinas en donde se aplica como flujo, fundente, refractarios, cerámica, abrasivos y aislantes ((SERNAGEOMIN), 2021).

El término arena industrial, arena cuarcítica, arena de sílice, son usados generalmente para designar a las arenas que presentan alta ley de sílice, en la forma de cuarzo. Las arenas industriales están constituidas esencialmente de cuarzo y como impurezas de óxidos de hierro, metales pesados y arcillas; mientras que la composición química de las arenas industriales varía bastante, dependiendo del lugar de donde son extraídas. Estos minerales de origen secundario y aquella de mejor calidad fue producida por sedimentos arenosos, arenitas y cuarcitos que sufrieron concentración a través de depositación y erosión.

2.4 Tensión superficial o energía libre superficial

La tensión superficial es una propiedad física de los líquidos, la cual se debe a las fuerzas de cohesión entre las moléculas en la superficie del líquido, lo que resulta en la formación de una membrana elástica que minimiza el área de la superficie libre. (Young et al., 2009)

De esta forma, una molécula que se encuentra en el seno del material, tendrá todos sus enlaces satisfechos al encontrarse rodeada por el mismo tipo de moléculas que componen el material, pero si analizamos una molécula que se encuentra en la superficie de este material, esta no tendrá todos sus enlaces satisfechos (Figura 2.1.), ya que no se encuentra totalmente rodeada por moléculas del mismo tipo, produciéndose de esta manera un aumento de energía o un desbalance de las fuerzas intermoleculares en la superficie del material. Así, mientras más enlaces insatisfechos, mayor es la energía de superficie presente en la interfase. Cualquier factor que afecte a las fuerzas de interacción afectara la tensión superficial. Un ejemplo de estos factores es el caso de la temperatura al ser aumentada la tensión superficial disminuirá. (Young et al., 2009)

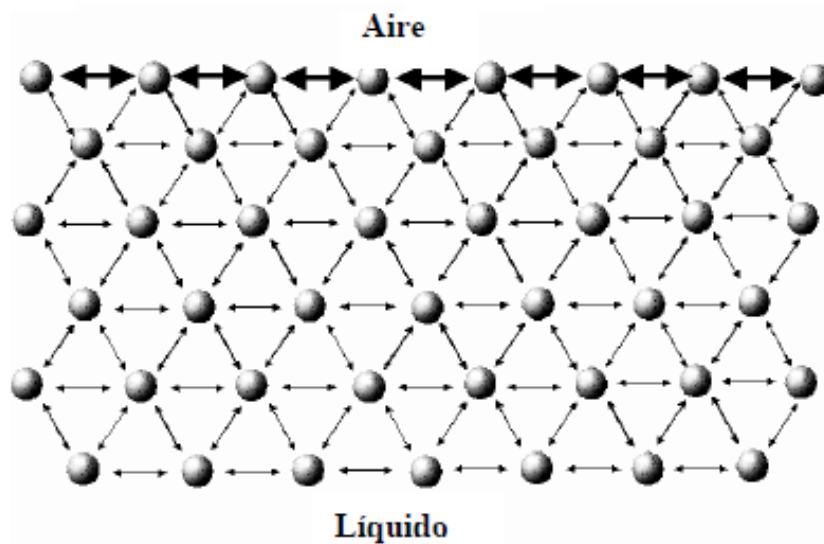


Figura N° 2.1 Representación de las interacciones intermoleculares en la interfase liquido-aire y en el seno de un líquido.

2.5 Angulo de Contacto

El concepto de “ángulo de contacto” aparece desde el momento en que no existen técnicas experimentales adecuadas para medir la tensión superficial entre sólido-gas y sólido-líquido. Young propuso un parámetro indirecto para medir cualitativamente el nivel de hidrofobicidad de un material, el cual es el “Angulo de Contacto”, de manera que este ángulo de contacto sería un equilibrio mecánico de las tensiones interfaciales sólido-líquido, sólido-gas y líquido-gas (Young T. , 1805). La medición del ángulo de contacto consiste en medir el ángulo interno de una gota de líquido colocada sobre una superficie sólida plana, con el fin de determinar cualitativamente la afinidad del material solido por el líquido de la gota. De esta manera, un ángulo medido pequeño, representa una alta mojabilidad o afinidad del sólido por el líquido. Por el contrario, un valor medido grande, representa una baja mojabilidad del sólido.

El balance energético explicado por la ecuación de Young, con el equilibrio mecánico y el ángulo de contacto se ve representado por la siguiente formula: $\delta_{LG} \cos\theta = \delta_{SG} - \delta_{SL}$; $\Delta G_{adh}^s = \delta_{LG}(\cos\theta - 1)$

Dependiendo del valor del ángulo de contacto, se determinará la probabilidad de que el sólido sea muy flotable o poco flotable.

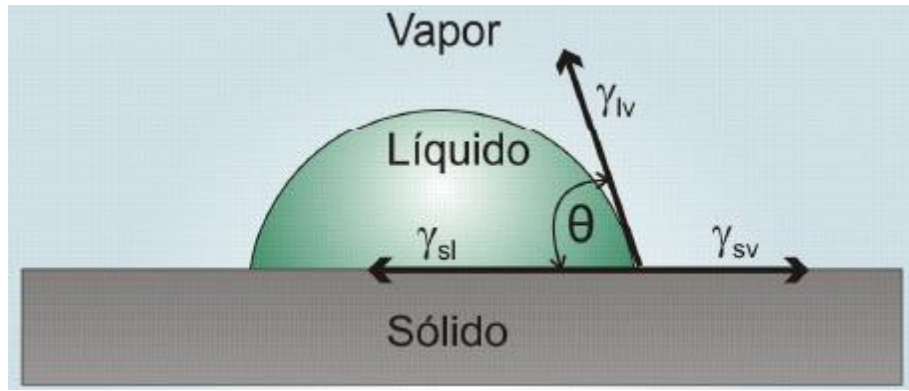


Figura N° 2.2 Gota de líquido sobre una superficie sólida en contacto con vapor de aire, formando un ángulo de contacto en el vértice de las tres interfaces

La hidrofobicidad de un material se produce cuando en el balance energético de las tensiones superficiales o energías de interfase entre sólido-gas es menor que la energía de interfase entre sólido-líquido más la energía de la interfase líquido-gas. Cuando se encuentran ángulos de contacto mayores a 90° significan que la humectación de la superficie es desfavorable, por lo tanto, hidrofóbica. El fluido minimizará el contacto con la superficie y formará una gota de líquido compacta (Figura 2.2.). Cuando las superficies tienen un contacto casi nulo con el fluido se le llaman superficies súper hidrófobas, este efecto se relaciona con el efecto de loto (Lafuma & Quéré, 2003) y los ángulos formados suelen ser mayores a 150° .

Contrariamente una superficie hidrofóbica, es cuando en el balance energético interfacial del sistema, se tiene una mayor energía entre sólido-gas, en comparación a la suma de las energías de interfase entre sólido-líquido y líquido-gas. Por tanto, el sólido tendrá mayor afinidad con el líquido que con el gas, siendo una partícula aero-fóbica o hidrofílica. Un ángulo inferior a 90° indica que su humectación es favorable, y el fluido se extenderá sobre un gran área de la superficie (Figura 2.3.). Cuando la gota del fluido se expande totalmente en la superficie del sólido, se tiene la mojabilidad completa y su ángulo de contacto es 0° .

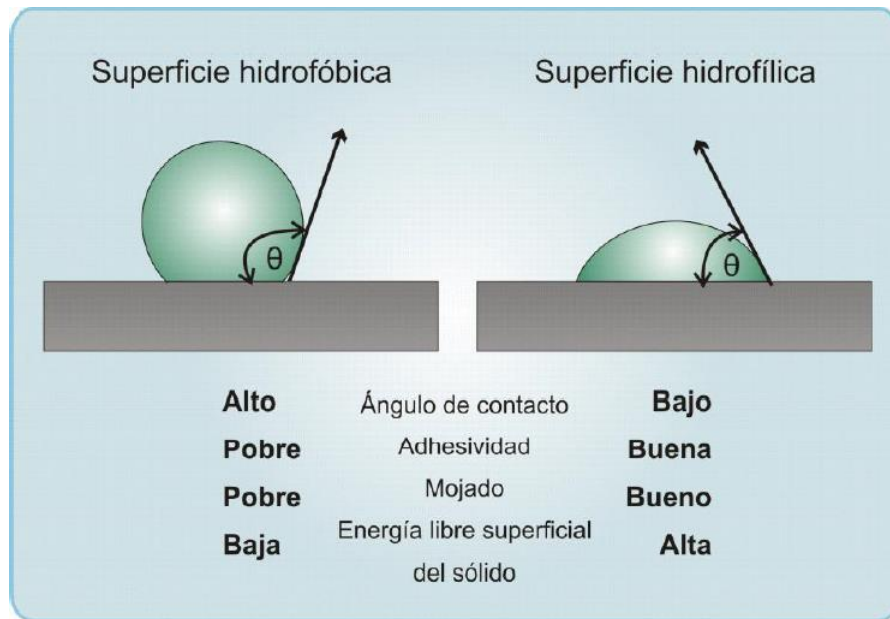


Figura N° 2.3 Esquema del ángulo que forma una gota de agua, en una superficie hidrofóbica e hidrofílica, comparando sus propiedades superficiales

2.6 Tipos de medición para ángulos de contacto

2.6.1 Medición directa por goniómetro

La técnica más ampliamente utilizada de la medida del ángulo de contacto. Es una medida directa de la tangente del ángulo en el punto de contacto de tres fases en un perfil de gota sésil. Este método óptico directo es ventajoso debido a su simplicidad y el hecho de que sólo pequeñas cantidades de líquido (pocos microlitros) y sustratos de superficie pequeña (unos pocos milímetros cuadrados) son necesarios. Por otro lado, hay un riesgo/impacto relativamente mayor de impurezas debido al tamaño pequeño del líquido y el sustrato. En cuanto a la exactitud de la medición y a la capacidad para obtener resultados similares o iguales en diferentes pruebas realizadas, se requiere un buen posicionamiento de la línea tangente operada. Es necesario establecer directrices generales para los operadores a seguir. Cabe destacar que las mediciones no pueden ser múltiples, solo debe ejecutarse con solo una gota o burbuja.

Para la medición de un ángulo de contacto de avance, la mejor manera para evitar error es formar lentamente la gota sésil, donde la aguja debe permanecer en la gota del líquido para evitar vibraciones, y el tamaño de su diámetro de gota sea aproximadamente 5 mm (Yuehua & Lee, 2013). Se debe medir ángulos de contacto en varios puntos en superficies relativamente grandes, para así obtener un valor medio representativo.

Otra limitación del goniómetro son los ángulos menores a 20° , dado a la dificultad de asignar la línea tangente correctamente, ya que es casi plano el perfil de la gota. Heterogeneidad superficial o rugosidad bien podría provocar variaciones del punto de contacto a lo largo de la línea de contacto trifásico. A pesar de todos estos problemas, el método del goniómetro se considera ser el método más conveniente de alta precisión.

Idealmente, las mediciones de ángulo de contacto deben hacerse dentro de un cuarto cerrado para excluir contaminación aerotransportada y establecer una presión de vapor de equilibrio del líquido de la prueba, que es especialmente preferible cuando el líquido de prueba es volátil. Independientemente de realizar la prueba con un cuarto cerrado, no vale de nada si el líquido a utilizar posee puntos de ebullición altos (Yuehua & Lee, 2013).

Para analizar la calidad del sustrato o sólidos a analizar, se evalúa con el método del plato inclinado propuesto por McDougall y Ockrent, midiendo la histéresis del ángulo. El método de "plato inclinado", modificó el método de la gota sésil, inclinando la superficie donde se encuentra el sustrato con una gota de un fluido, hasta que la gota no se desplace de su lugar donde fue depositada. Se obtuvo ángulos máximos y mínimos, θ_{\max} punto más bajo y el más alto punto θ_{\min} consideran los ángulos de contacto avance y retroceso, respectivamente (MacDougall & Ockrent, 1942).

Sin embargo, esta asociación particular entre los ángulos de avance/retroceso y los ángulos de contacto de máxima y mínima debe utilizarse con precaución porque a veces pueden ser muy diferentes.

2.6.2 Método de la burbuja cautiva

Otra alternativa de medición de ángulo de contacto es el método de la burbuja cautiva. En comparación con la forma clásica de depositar una gota de líquido sobre la muestra, esta forma una gota de burbuja de aire debajo de la muestra, la cual está sumergida en la solución a estudiar. Al igual que la medida del telescopio goniómetro su medida también es directa y la aguja debe permanecer en la burbuja para no perturbar y evitar el desprendimiento de la burbuja.

Por lo general, se inyecta una pequeña cantidad de aire en el líquido de interés. Este método asegura una atmosfera saturada, al estar la burbuja en todo contacto con el líquido donde fue inmersa la superficie de interés. Se deduce que se reduce al mínimo la contaminación de la interfaz sólido-vapor y se puede controlar la temperatura más fácilmente. Según estudios realizados, las superficies poliméricas limpias suaves presentan un buen acuerdo entre gota sésil y ángulos de contacto de burbuja cautiva. Sin embargo, debido a la naturaleza del método, requiere mucho más líquido que el método de la gota sésil (W. Zhang, 1989). También puede ser problemática cuando el sólido se hincha después de inmersión en el líquido, u ocurre que el líquido forma una película sobre el sólido.

2.6.3 Método de la placa basculante

Este método es muy favorable debido por su fácil medición y menor dependencia del operador. Fue desarrollada por Adam y Jessop. Este método consiste en un plato sólido que gira, con un extremo agarrado por encima del líquido, y el otro extremo es sumergido en el líquido, formando un menisco en ambos lados de la placa. La placa se inclina lentamente hasta que el menisco se vuelve horizontal en un lado de la placa. El ángulo formado entre el menisco horizontal y la película del líquido es el ángulo de interés. Un error fue atribuido a la contaminación del líquido del orden de $\pm 5^\circ$ (Yuehua & Lee, 2013). Una de las dificultades para medir ángulos en este método, es la perturbación de líquido causado por la placa sólida giratoria, por lo que fue modificado agregando un microscopio ocular para que el borde de la intersección de sólido-líquido se ponga en el eje de rotación, además se agregó el uso de barreras de cristal las que favorecen en la captación de impurezas en la superficie del líquido

(Fowkes & Harkins, 1940).

Este método se ha utilizado para medir ángulos de contacto pequeño (menos de 10°). La técnica muestra la alta exactitud y potencial para determinar la dependencia de la velocidad de ángulos de contacto dinámicos automáticamente.

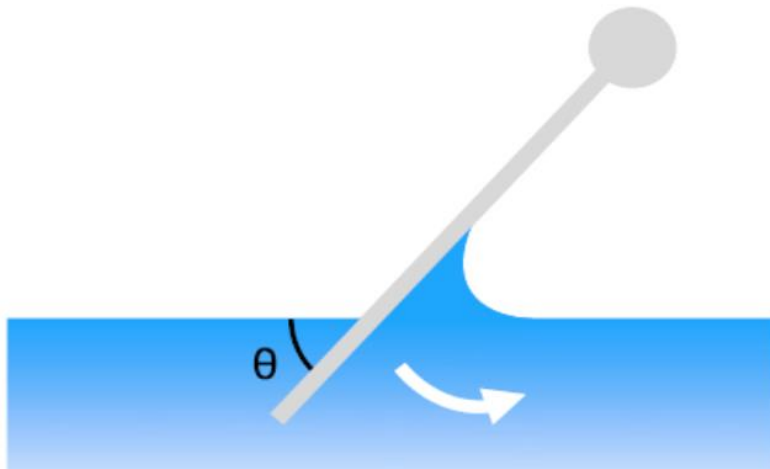


Figura N° 2.4 Ilustración del método de la placa basculante

2.6.4 Método de balance de Wilhelmy

El método Wilhelmy pone en contacto una muestra sólida delgada lisa y vertical con un líquido, el cambio en su peso es detectado por su cambio de equilibrio. El cambio detectado, es una combinación de fuerzas, las del tipo flotación y las fuerzas de adherencia. El cambio de equilibrio F se define como la diferencia entre la fuerza de adherencia y las fuerzas de flotación.

$$F = \gamma_{lv} p \cos \theta - V \Delta \rho g$$

Donde γ_{lv} es la tensión superficial del líquido, p es el perímetro de la línea de contacto (es decir, el mismo que el perímetro de la sección transversal de la muestra sólida), θ es el ángulo de contacto, V es el volumen del líquido desplazado, $\Delta \rho$ es la diferencia de

densidad entre el líquido y el aire (o un segundo líquido) y g es la aceleración de la gravedad.

Se puede deducir según la formula anterior que, sabiendo la tensión superficial del líquido y el perímetro del sólido, se puede calcular el valor del ángulo de contacto. Príncen desarrollo una técnica permitiendo obtener la tensión superficial líquida cuando el ángulo de contacto es cero y es conocido el perímetro. La muestra sólida puede ser empujada hacia el líquido o extraerse, la que generan ángulos de avance y retroceso. Además, es útil para estudios de ángulos de contacto dinámicos e histéresis del ángulo de contacto al mojar diferentes velocidades de humectación.

Este método tiene ventajas sobre los métodos ópticos convencionales. En primer lugar, realizar una medición de ángulo de contacto se reduce a conocer las medidas de peso y longitud, que puede realizarse sin ningún problema y dificultad. En segundo lugar, la fuerza F medida, es un valor promedio en cualquier punto o profundidad (Yuehua & Lee, 2013). Sin embargo, las mediciones en este método también presentan impedimentos, la muestra que se analiza, deberá estar conformada por una sección transversal uniforme en la dirección de la inmersión. Otra complicación de este método se basa en la precisión del operador, ya que a veces resulta difícil medir el perímetro y la longitud mojada precisamente. Con respecto a su composición y topografía de la muestra, esta debe ser igual en todos lados. Además, en comparación con la gota sésil, se requiere una gran cantidad de líquido, que puede causar que la muestra sólida se hinche y absorben vapor sin querer.

2.6.5 Aumento capilar en una placa Vertical

Al igual que el método de Wilhelmy, un líquido entra en contacto con una placa vertical, la diferencia se encuentra que esta placa es infinitamente amplia (placas de 2 cm de ancho satisfacen el requisito teórico de ser "infinitamente" amplia), esta produce un aumento debido al efecto capilar. Este aumento se denomina altura h , que puede ser determinada por la integración de la ecuación de Laplace :

$$\sin \theta = 1 - \frac{\Delta \rho g h^2}{2\gamma_{lv}}$$

Donde $\Delta\rho$ es la diferencia de densidad entre líquido y vapor, g es la aceleración debido a la gravedad, y γ_{lv} es la tensión superficial líquida. Este método de Wilhelmy solo puede modificarse, a medida que cambia el ascenso capilar h , por lo que solo es necesario determinar h para calcular el ángulo de contacto θ .

Esta técnica también heredó la mayor parte de las ventajas y desventajas del método de balance de Wilhelmy. Al igual que el balance de Wilhelmy, es posible determinar ángulos de contacto dinámicos moviendo la placa hacia arriba o hacia abajo, también es utilizado para demostrar si la temperatura es influyente de ángulos de contacto (Budziak, 1991). Su geometría de placas debe ser regular, misma composición y topografía en todos lados. Donde una superficie preparada que forma una línea recta de menisco, se puede obtener una precisión de $\pm 0,1^\circ$. Al combinar las ecuaciones de balance de Wilhelmy y aumento capilar en la placa se puede relacionan a través de la expresión $\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$, lo que es factible determinar ángulos de contacto y tensión líquida superficial en el mismo instante.

2.6.6 Tubo capilar

En general, el método de balance Wilhelmy puede aplicarse a una amplia gama de placas, barras, alambres, tubos y capilares. Teniendo en consideración que la sección de cada tramo del perímetro debe tener una misma composición, y topografía necesarios para poder medir ángulos de contacto. Para un capilar vertical de sección circular suficientemente estrecha, el perímetro p del tubo capilar debe ser la suma de los perímetros interiores y exteriores, el menisco puede considerarse esférico, y el ascenso capilar h está dada por:

$$h = \frac{2\gamma_{lv} \cos \theta}{\Delta\rho gr}$$

Donde r es el radio del capilar, γ_{lv} es la tensión superficial líquida, g es la constante de aceleración de la gravedad, y $\Delta\rho$ es la diferencia de densidad entre el líquido y vapor. El ángulo de contacto se puede calcular utilizando los valores de h medido experimentalmente y r . Si r es muy pequeño, se puede calcular la longitud del tubo capilar ocupada por una masa conocida de mercurio. Esta relación entre el ángulo de contacto, altura capilar y radio se conoce como la regla de Jurin.

2.6.7 Análisis de la forma de la gota

Las gotas o burbujas con un volumen fijo, tiende a reducir al mínimo la superficie por la acción de la tensión superficial, haciéndolas tomar la forma esférica. Además de la tensión superficial, fuerzas externas actúan en la gota como es la fuerza de gravedad. La gravedad deforma la caída de dos maneras, por alargue en una gota colgante o aplanado de una gota sésil. Este equilibrio entre tensión superficial y fuerzas externas (como la gravedad) se refleja matemáticamente en la ecuación de Laplace de capilaridad, que ofrece la posibilidad de determinar la tensión superficial mediante el análisis de la forma de gota.

En este análisis, se asume la gota líquida para formar parte de una esfera. Geométricamente, el ángulo de contacto puede ser calculado midiendo el diámetro de la gota y la altura del ápice:

$$\frac{\theta}{2} = \tan^{-1}\left(\frac{h}{d}\right)$$

Este método da resultados razonables cuando la gota líquida es extremadamente pequeña. Sin embargo, la asunción de la forma esférica no se puede aplicar si la forma de la gota es suficientemente grande como para ser afectado por la gravedad.

Al utilizar la ecuación de Laplace para analizar la forma de los perfiles de gotas, genera una colección de perfiles de gota sésil según diferentes valores de tensión superficial y el radio de curvatura en el vértice de la gota. En consecuencia, la tarea de determinar la tensión superficial se convirtió en simple interpolación. (Bashforth & Adams, 1883)

Durante el último periodo de tiempo con el avance de la tecnología, ha conducido a un considerable desarrollo de análisis computacionales para el análisis de la forma de gotas, donde se puede encontrar el método de análisis de la forma de la gota axisimétrica (ADSA). Este método se cree que es una de las técnicas más precisas para la medición del ángulo de contacto, con una reproducibilidad del orden de $\pm 0.2^\circ$. El método ADSA, ha demostrado mejorar la precisión de medición, en comparación con el método de mediciones directas del ángulo de contacto, con una reproducibilidad del orden de $\pm 2^\circ$.

El principio básico del método ADSA es encontrar el mejor perfil teórico que coincide con el perfil de gota extraído de una imagen experimental, de la cual la tensión superficial, ángulo de contacto, gota de volumen y área superficial puede ser calculado. Existen dos principales hipótesis en el método ADSA, la gota experimental es el Laplaciano y axisimétrica, y la gravedad es la fuerza externa solamente. La tensión superficial se utiliza como un parámetro variable, y el algoritmo busca el perfil teórico que se ajuste mejor al perfil de la gota experimental, obteniendo un valor de tensión superficial específico. El método de análisis de perfil (ADSA-P) de forma de gota axisimétrica genera una función objetivo, que se define como la suma de los cuadrados de las distancias normales entre puntos de perfil experimental y teórico correspondiente. (Chen et al., 1998)

En el método de ADSA las mediciones para extraer los perfiles de interfaz de la gota se realizan automáticamente. Una aplicación de computadora que realiza las mediciones de perfil de gota, este método es llamado ADSA-P. Técnicas de corrección de distorsión óptica también se incorporaron en el programa de ADSA-P para lograr una mejor precisión. Se pueden encontrar resultados precisos excepto por gotas grandes y sésiles planos, donde el programa fracasó debido a la llanura del ápex (Rio & Neumann, 1997). Otra rama del método ADSA, es el análisis del diámetro de gota en forma axisimétrico (ADSA-D), fue desarrollado para medir ángulos de contacto muy bajos (menos de 20°), y superficies no ideales. Diferente del método ADSA-P, el programa de ADSA-D analiza una imagen de la vista superior de la gota y mide el diámetro de contacto. Una vez que se conocen el diámetro de contacto, tensión superficial líquida y el volumen de la gota, se puede determinar el ángulo de contacto de integración numérica de la ecuación de Laplace de capilaridad (Skinner et al., 1989). Se ha afirmado que los resultados del ángulo de contacto obtenidos por los métodos de ADSA-D y ADSA-P, varían entre un margen de $\pm 0,4^\circ$. Pero para ángulos de contacto bajo, ADSA-D da una precisión mayor. Sin embargo, no se puede medir el ángulo de contacto de equilibrio debido a la existencia de estados meta estables, y una fuerte dependencia de tamaño de gota.

2.7 Mojabilidad

El término “mojabilidad”, en un concepto amplio, y se refiere a una adhesión de una fase líquida a otra fase (un sólido o un líquido) de tal manera que se excede la cohesión de la

fase de expansión, o dicho de otro modo al desplazamiento de un fluido por otro sobre una superficie líquida o sólida. Como el proceso de flotación envuelve las fases sólido/líquido/gas, tal termino será acá aplicado al desplazamiento del aire por el agua (o solución acuosa) sobre una superficie sólida. Cuando un sólido donde la adhesión de una fase acuosa excede la cohesión del líquido, o es completamente mojado por el agua se llama “hidrofílico”, mientras que un sólido “hidrofóbico” denota una humectabilidad parcial o incompleta por la fase acuosa, y que posee afinidad por sustancias apolares o lipofílicas como el aire atmosférico y sustancias oleosas (Rao, 2004).

Termodinámicamente, la mojabilidad es una función de las magnitudes relativas a las energías libres por unidad de área (γ) de las tres interfaces envueltas en este fenómeno: sólido/gas (γ_{SG}), sólido/líquido (γ_{SL}) y líquido/gas (γ_{LG}). Para que el líquido se desplace espontáneamente sobre el sólido, y lo moje, la energía libre interfacial del sistema debe disminuir durante el proceso en que una unidad de área de la interface sólido/gas es sustituida por otra del tipo sólido / líquido (Rosen, 1989).

Tomando como ejemplo un sistema compuesto por una gota de líquido en equilibrio con su vapor sobre la superficie plana de un sólido, uniformemente pulida y limpia, bajo valores constantes de temperatura y presión (Figura 2.2); se verifica que:

- Las magnitudes de γ_{LG} , γ_{SL} y γ_{SG} están relacionadas al trabajo de adhesión del líquido con el sólido, (W_a), y es el trabajo de cohesión del líquido (W_c), a través de las ecuaciones siguientes desarrolladas por Dupré.

$$W_a = \gamma_{SV} + \gamma_{LV} - \gamma_{LS}$$

$$W_c = 2 \gamma_{LV}$$

Donde:

W_a es el trabajo hipotético requerido para destruir una interface sólido/líquido, originando con esto dos nuevas interfaces: líquido/gas y sólido/gas.

W_c es el trabajo hipotético requerido para dividir en dos partes una columna de líquido de sección de área unitaria de 1 cm^2 , generando dos interfaces líquidas/gas.

- El líquido se desplazará espontáneamente sobre el sólido cuando las fuerzas de adhesión sólido/líquido fueran mayores que las de cohesión en el líquido, o sea, cuando $W_a > W_c$. A partir de esta propuesta, se introduce el “coeficiente de desplazamiento” S , definido por las ecuaciones (Harkins & Feldman, 1922).

$$S = W_a - W_c$$

$$S = \gamma_{SV} - \gamma_{LS} - \gamma_{LV} = -\Delta G$$

Cuando S es positivo, la variación de la energía libre del sistema (ΔG) es negativa y el sólido será mojado completamente por el líquido. Por otro lado, cuando S es negativo, el líquido mojará parcialmente el sólido y asumirá formas para las cuales la energía libre del sistema sea mínima (Harkins & Feldman, 1922). Es evidente que la mojabilidad es favorecida en sistemas envolviendo sólidos de alta energía libre superficial y líquidos de baja energía libre superficial.

- Debido a las limitaciones experimentales de medir directamente las magnitudes de γ_{SV} y γ_{LS} , el trabajo de adhesión W_a y el coeficiente de desplazamiento S necesitan ser evaluados indirectamente a través de medidas del ángulo de contacto θ formado entre las fases sólida y líquida (Harkins & Feldman, 1922). La magnitud θ está relacionada con los valores de las energías libres interfaciales de γ_{LV} , γ_{SV} y γ_{SL} por la ecuación de Young:

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos\theta$$

Reemplazando γ_{SV} en las ecuaciones que expresan W_a y $S_{L/S}$, se obtiene lo siguiente:

$$W_a = \gamma_{LV} (\cos \theta + 1)$$

$$S = \gamma_{LV} (\cos \theta - 1)$$

Cuando $\theta = 0^\circ$, entonces $S \geq 0$, o sea, el líquido moja completamente el sólido. Si el líquido es agua, el sólido es hidrofílico. Por otro lado, cuando $\theta > 0^\circ$, entonces $S < 0$ y el sólido será parcialmente mojado por el líquido y, siguiendo el raciocinio para el agua, el sólido es hidrofóbico. Así, una vez que la tendencia del líquido es de expandir sobre el sólido aumenta con la disminución de la magnitud de θ , la determinación del ángulo de contacto es

una medida útil para inferir la mojabilidad (Harkins & Feldman, 1922).

- En resumen, si $W_a \geq W_c$, el coeficiente de desplazamiento S será positivo o nulo, $\theta = 0^\circ$, y el líquido se desplazará espontáneamente sobre el sólido, mojándolo. Si $W_a < W_c$, el coeficiente de desplazamiento S será negativo, y el líquido formará gotas sobre el sólido con un ángulo de contacto mayor que cero ($\theta > 0^\circ$).

Empíricamente existe una técnica para evaluar la mojabilidad de sólidos, a partir del estudio de desplazamiento de líquidos puros (serie homóloga de n-alcanos) sobre sólidos de baja energía, donde el gráfico de coseno del ángulo de contacto ($\cos \theta$) versus la tensión superficial del líquido (γ_{LV}) resultaba una relación lineal (Zisman, 1964). La intercepción de la recta en $\cos \theta = 1$ fue denominado “tensión crítica de mojabilidad del sólido” (γ_C), y líquidos que presentan γ_{LV} menor que el valor de γ_C mojaran el sólido completamente.

2.7.1 Influencia de la mojabilidad en la flotación

La flotación es un proceso de separación de minerales que es realizado en un medio acuoso en presencia de burbujas de aire. En tal proceso, partículas hidrofóbicas coliden y adhieren con las burbujas y son removidas del medio acuoso, mientras partículas hidrofílicas permanecen suspendidas en el sistema, aunque estas colidan con las burbujas, pero no son adheridas por ellas (Rao, 2004).

La adhesión de una partícula a una burbuja de aire involucra la sustitución de una unidad de área de la interface sólida/líquido por otra del tipo sólido/gas, o sea, un evento inverso al de la mojabilidad de un sólido por un líquido. Así, basado en lo anterior se tiene que el retroceso de la fase líquida será espontáneo cuando el coeficiente de desplazamiento es negativo y en este caso, la variación de energía libre del sistema está dada por la ecuación de Dupré. El ángulo de contacto formado entre una partícula mineral adherida a una burbuja de aire en un medio acuoso está directamente relacionado al ángulo de contacto establecido entre una gota del mismo líquido y la superficie; pudiendo ser definido por la ecuación de Young (Fuerstenau et al., 2007).

2.8 Flotación de minerales

La flotación es una técnica de concentración o separación, que aprovecha la diferencia entre las propiedades superficiales o interfaciales del mineral. Se basa en la adhesión de algunos sólidos a burbujas de gas generadas en la pulpa por algún medio externo, donde las burbujas de aire transportan los sólidos adheridos a la superficie, donde son recolectados y recuperados como concentrado, paralelamente la fracción de material que no se adhiere a las burbujas permanece en la pulpa y constituye la cola o relave. Cabe destacar que la flotación, también puede ser de forma inversa, donde el flotado es el relave y el relave es el concentrado.

La condición de flotabilidad depende del nivel de adhesión entre las partículas útiles y las burbujas, las cuales deben ser capaces de soportar la agitación y turbulencia en la celda. La probabilidad de una partícula de ser flotada depende de diversos factores como lo son las condiciones superficiales, tipo y dosificación de reactivos, pH, aireación y acondicionamiento de la pulpa, calidad del agua utilizada, granulometría de la mena, temperatura de la pulpa y densidad de la pulpa o porcentaje de sólido.

2.8.1 Flotación de feldespatos y cuarzo

La separación del cuarzo de otros minerales ha atraído un interés creciente en los últimos años, especialmente por la separación de feldespato y cuarzo debido a su estructura similar de tectosilicato. Para obtener cuarzo de alta pureza, generalmente se utiliza la flotación. El cuarzo puro es una sustancia hidrofílica, y su flotación requiere de la ayuda de un colector, y el valor de su ángulo de contacto depende en gran medida de la concentración de amina y el pH de la solución (Laskowski & Kitchener, 1969).

La flotación por espuma es el método seleccionado para la separación de cuarzo y feldespato. Los experimentos de flotación realizados en una mezcla de cuarzo y feldespato demuestran que el cuarzo puede flotar selectivamente a partir de feldespatos en soluciones diluidas de ácido fluorhídrico (HF) simplemente con la ayuda de un espumador, ya que el HF crea una gran diferencia en los potenciales zeta de los minerales, por motivo de que el potencial zeta del feldespato se vuelve muy negativo mientras que el del cuarzo se aproxima

a cero. El ácido fluorhídrico plantea desafíos con respecto a la salud, la seguridad y el medio ambiente (HSE). Por lo tanto, cuando sea posible, se prefieren ácidos alternativos. Sin embargo, las propiedades únicas del producto químico aún hacen que los procesos basados en HF sean muy interesantes (Larsen & Kleiv, 2016).

Estudios con muestras de relaves provenientes de la minería metálica, y por medio de la flotación, son recuperado los feldespatos presentes en estos. Con ayuda de colectores aminas; Aereo 3030C, Reagent- S9549 y Dodecilamina, y la determinación de la interacción de estos a pH básicos determinados por la técnica del ángulo de contacto y potencial zeta, frente a contaminación de iones de Al^{+3} , Fe^{+3} y Mn^{+2} . Finalmente, los parámetros fisicoquímicos evaluados muestran una buena flotabilidad del feldespato con colectores aminas a pH básico a través de flotación espumante con tiempos de acondicionamiento y flotación de 7 y 3 minutos, respectivamente, obteniendo valores superiores de recuperación del mineral al incrementar el pH; alcanzando valores de hasta el 90 % con colector Aero 3030C y con la utilización de iones contaminantes como activadores (Contreras, 2021).

Otra investigación fue por dos clases de aminas, éter monoamina y éter diamina para la flotación inversa catiónica de cuarzo para la concentración de minerales de hierro. Estos colectores catiónicos tienen cargas eléctricas positivas en su estructura molecular, lo que les permite interactuar con los grupos silicatos del cuarzo. El pH más favorable para la flotación del cuarzo en los rangos de tamaño investigados fue pH 9.0 para los dos tipos de aminas utilizadas. Para tamaños de partículas media y gruesa, se obtuvieron mejores resultados en para el éter diamina, y en el caso de partículas finas, el éter monoamina se vio favorecida su recuperación. (Vieira & Peres, 2007).

Siguiendo con la investigación de las propiedades del cuarzo en presencia de colectores tipo amina, podemos encontrar el cuarzo en presencia del colector hexilamina. Se demostró que el colector mejoró el rendimiento de flotación del cuarzo independientemente del tipo de dispositivo de flotación. Las propiedades espumantes de la hexilamina y su adsorción en la interfase líquido/gas mostraron que en el proceso de flotación juega un papel de espumante, y que "descubre" la hidrofobicidad natural del cuarzo (Kowalczuk, 2015).

2.9 Relaves

El relave es un descarte de operaciones mineras, está constituido por agua, rocas y minerales de no interés. Es el principal residuo de la minería, el cual es obtenido luego de la concentración de minerales del tipo sulfurado. En tema de producción entre relave y el mineral a interés, proporcionalmente sería de 99 a 1. Estos relaves son almacenados en depósitos de relaves los que comprenden, tranque, embalse, filtrado en pasta y espesado. Además, los depósitos de relave se pueden encontrar activos, no activos y abandonados. Actualmente en Chile existen 742 depósitos de relaves, de los cuales 104 están activos, 463 están inactivos, 173 están abandonados y otros 2 en etapa de construcción ((COCHILCO), 2019) . Estas cifras sitúan a Chile como el tercer país con el mayor número de depósitos de relaves en el mundo ((COCHILCO), 2019). Se ha estimado que, en Chile las faenas mineras actuales generan relaves a una tasa de 530 millones de toneladas al año que cubren extensas áreas y que han acumulado, hasta el presente, aproximadamente 24 mil millones de toneladas en el territorio nacional (calculado desde el Catastro Nacional de Depósitos de Relaves vigente) ((SERNAGEOMIN), 2021).

La mayoría de los relaves de cobre contienen una gran cantidad de pirita, magnetita, oro, plata, cobre, titanio, feldespato, cuarzo y tierras raras. Al no estabilizarse adecuadamente estos relaves con el tiempo podrían generar aguas ácidas como resultado de la oxidación de los sulfuros residuales ((SERNAGEOMIN), 2018). También podemos encontrar la contaminación eólica por la acción de viento en ataludes de arena, y los generados por desastres naturales como aluviones y terremotos, que pueden provocar un posible desmoronamientos y colapsos de estos. Dado estos antecedentes generan una gran preocupación para la comunidad, ya que la cantidad de relaves sigue en aumento debido al constante crecimiento de la industria de cobre metálico y leyes de cobre más bajas.

2.10 Recuperación de minerales de relaves de cobre.

A raíz de los posibles riesgos ambientales generados por los depósitos de relaves, se han considerado estudios y alternativas para eliminar o disminuir estos posibles riesgos, una opción es el tratamiento de relaves o la recuperación de minerales de relaves. Esta alternativa

es considerada rentable, ya que no implica costos de reducción de tamaño, chancado y molienda. Su procesamiento además genera un aprovechamiento económico tanto en la comercialización de estos minerales y en la reducción del volumen de los relaves. Esta práctica es llamada como minería secundaria, y representa un gran porcentaje en la producción de elementos o minerales con valor económico en países del mundo, por ejemplo, Sudáfrica con un 20% de la producción minera y China con un estimado del 25%, mientras que en Chile no sobrepasa al 1% (Induambiente, 2021).

Una alternativa ya implementada en la minería es la recuperación hierro de relaves de cobre. Planta magnetita de la compañía minera del pacífico, es una faena productora de concentrado de hierro a partir de relaves de cobre, principalmente relaves provenientes de la planta concentradora de cobre de Minera Candelaria. Los relaves se reciben en forma de pulpa, los cuales son procesados en una etapa de concentración magnética Rougher. Para aumentar su concentración de hierro, el mineral es traspasado a una etapa de remolienda, deslamado y concentración magnética de limpieza. Finalmente, se eliminan impurezas por una etapa de flotación de sílice y se logra un concentrado Pellet Feed 66%Fe ((CMP), s.f.). En la Planta Manuel Antonio Matta, se realizaron estudios donde se concluyó que es posible la recuperación de hierro magnético, mediante diferentes etapas de concentración magnética de baja intensidad (Valderrama, et al., 2014).

Planta Minera Valle Central, procesa alrededor de 130.000 t/d de relaves, con una ley de 0,12% de cobre total. Estos relaves provienen de Codelco Chile, División El Teniente, con el objetivo de recuperar cobre y molibdeno mediante el proceso de flotación. Conjuntamente son procesados los relaves que han sido depositados en el Tranque Cauquenes entre los años 1939 y 1977 ((MVC), s.f.). Bajo este criterio se han estudiado relaves con gran cantidad de años, los cuales algunos poseen una gran cantidad de cobre o leyes de cobres relativamente altas en comparación a leyes de plantas de concentrado de cobre.

Estudios basados en la eliminación del azufre de los relaves, concluyen una forma de restringir o disminuir la producción de aguas ácidas (Humber, 1995). Esta técnica consiste en enriquecer el sulfuro contenido en el relave, en un concentrado de ley comercial mediante flotación (Valderrama, et al., 2015).

Otro elemento de varios estudios es el cobalto, su gran demanda por los distintos usos en la tecnología, hacen la recuperación del cobalto desde relaves de cobre atractivo. El Depósito de Hamburgo de Minera Escondida posee 7.840 toneladas de cobalto aproximadamente. Una opción sería la recuperación de hidróxido de cobalto. El proceso constaría de 15 operaciones divididas en dos grandes partes, concentración e hidrometalurgia. La primera incluye la etapa de flotación, filtrado y espesado del concentrado obtenido, y la tostación de este. La segunda etapa contempla la lixiviación y extracción por solvente, obteniendo un precipitado de hidróxido de cobalto (Lizama, 2019).

Una alternativa que se encuentra aún en estudios dado su alta demanda mundial y escasas en Chile, es la recuperación de tierras raras originadas de los relaves de cobre.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En este capítulo son expuestos los materiales y la metodología utilizada para realizar las diferentes pruebas de ángulo de contacto y de flotación batch requeridas.

3.1 Obtención de las muestras

El cuarzo utilizado en la determinación de ángulo de contacto fue de planta M.A. Matta de la Empresa Nacional de Minería. La muestra fue reducida de tamaño y cateada para obtener muestras lo más puras. Estas se limpiaron hirviéndolas en ácido clorhídrico concentrado para eliminar el hierro. El cuarzo lixiviado se enjuagó en agua destilada en forma sucesiva hasta que el pH del agua indicó ausencia del ion cloruro. Un cristal de cuarzo con planos y aristas bien definidos fue seleccionado de las muestras provenientes de Planta M. A. Matta. Los planos basales (001) y frontal (010) fueron escogidos cuidadosamente desbastados en húmedo, utilizando lijas con diferentes granulometrías. El pulimiento final fue realizado con pasta de diamante.

La muestra pura de ortoclasa se obtuvo de la mina Feldespato, distrito el Roble de la provincia de Copiapó ubicada en la región de Atacama. Luego de ser triturada, molida y seleccionada, las muestras se usaron en pruebas de determinación de potencial zeta y micro flotación. La composición química y la difracción de rayos X (DRX) de la ortoclasa utilizada para el estudio de las características químicas y las composiciones minerales se muestran en la Tabla 4.1 y la Figura 4.1.

El relave utilizado en las pruebas de flotación se obtuvo de planta Manuel Antonio Matta. Este relave fue deslamado en la malla 400, la porción del sobre tamaño fue secada, disgregada y cuarteada para realizar los diferentes ensayos planificados.

3.2 Equipos y Metodología

3.2.1 pH metro, ORP y temperatura

Mi151 pH es un pH metro con una buena confiabilidad de medición, tanto de pH como temperatura. Sus características son:

- Compensación automática de temperatura (ATC) para una buena precisión bajo

temperaturas fluctuantes.

- La función de retención congela la lectura para facilitar la visualización.
- LCD grande y fácil de leer.
- El indicador de estabilidad indica cada vez que la lectura se estabiliza;
- 7 memorias intermedias memorizadas (pH 1.68, 4.01, 6.86, 7.01, 9.18, 10.01 y 12.45) para la calibración.
- Mensajes en la pantalla LCD para que la calibración sea fácil y precisa.
- "Tiempo de calibración" seleccionable por el usuario para recordar cuándo es necesaria una nueva calibración.

El pH metro se calibra con ayuda de soluciones amortiguadoras o también llamadas buffer. y luego se repite el mismo procedimiento para los otros pH. Para realizar la calibración, es requerido como mínimo dos pH distintos; pero para alcanzar una Se vierten los buffers en vasos precipitados, en donde se introduce el electrodo unos 4 cm en el líquido, se espera hasta que se logre encontrar el pH del buffer mejor o más completa calibración, se puede agregar más buffer a medir.

3.2.2 El goniómetro Modelo 190 CA ramé-hart

Es una herramienta optimizada para la medición del ángulo de contacto. El modelo 190 incluye DROPImage CA, también iluminador de fibra óptica con fuente de luz halógena y una cámara digital SuperSpeed U1 Series 100 FPS. Cada sistema se envía como una herramienta completa llave en mano con PC y LCD, software DROPImage CA y dispositivo de micro jeringa para dispensación manual, una solución asequible basada en el diseño ramé-hart de probada eficacia hace que CA Goniometer.

La calibración del goniómetro 190 CA ramé-hart se realiza de la siguiente forma:

- El programa DROPImage y el goniómetro deben configurarse completamente para su uso. La fuente de luz debe estar apuntando hacia la plataforma al igual que la cámara, asegurándose que esta última esté sin su tapa protectora del lente.
- Se toma la pieza de calibración y se posiciona sobre la plataforma, de forma tal que el

texto escrito en la pieza quede hacia arriba. El rectángulo con la bola inmersa debe quedar frente a la cámara.

- Se debe Utilizar el movimiento de los ejes para posicionar la bola en la pantalla, asegurándose de que este activada la opción live image a la derecha de la barra de menú. El eje Z mueve la placa de arriba hacia abajo, el eje Y mueve el escenario hacia atrás y hacia delante, y el eje X desliza el escenario de lado a lado.
- Utilizando el Software DROImage, proyectará la imagen de la bola, la cual tiene un diámetro de 4 mm (valor predeterminado). La imagen debe tener buen contraste y una máxima nitidez posible para que se haga la medición de forma correcta.
- Una vez visualizada la bola de calibración se presiona en el software Calibrate> New Calibration >Sphere calibration y se ingresa el diámetro de la bola que se está visualizando y presionar OK.
- Automáticamente aparecerán dos líneas verdes una horizontal y una vertical. En primer lugar, la línea vertical se debe posicionar por el centro de la esfera negra, esto se hace simplemente haciendo click en la imagen de la pantalla y la línea se moverán donde el click fue hecho. En segundo lugar, la línea verde horizontal debe colocarse por debajo de la esfera negra, creando espacio entre las dos, haciendo click y shif se puede posesionar la línea en el lugar deseado. Durante esta operación aparece un recuadro que indica la posición en las que están las líneas en forma de guía para el operador.
- Al momento de calibrar, aparecerá un recuadro, el cual indica la relación entre el diámetro y la altura de la esfera. Si las líneas están bien situadas, el diámetro y la altura que el software cálculo debiese ser el mismo. EL cociente entre ambas mediciones o “Aspect Ratio” debería ser lo más cercano a 1, teniendo como tolerancia de desviación un ± 0.015 , lo que significa que el valor puede variar entre 0.9985 a 1.0015. Si la relación de aspecto se encuentra dentro del rango permitido, hacer click en OK para proceder.
- Una vez calibrado el equipo se puede proceder a la medición de ángulo de contacto.

3.2.3 Medición de ángulo de contacto

Para lograr una buena medición del ángulo de contacto, se requiere una preparación

tanto de la muestra como de los equipos que se trabajan.

Se preparan los modificadores de pH, ácido clorhídrico e hidróxido de sodio con concentración de 1N para ambos. Se prosigue con la preparación del reactivo hexamina con agua destilada a distintas concentraciones del colector, para este caso se eligieron tres molaridades distintas 1×10^{-3} M, 1×10^{-4} M y 5×10^{-4} M. Para la preparación de las soluciones se utilizaron las micro pipetas, en vista que es necesario pequeñas cantidades de reactivo (μ L). Para evitar que se contamine la solución a preparar, el matraz es previamente limpiado. Luego de esto se agrega agua destilada solo una porción del total, se prosigue con el agregado del reactivo hexamina, el cual fue extraído gracias a las micro pipetas. Finalmente se enraza con agua destilada hasta alcanzar el litro. El cálculo de la dosificación para las tres diferentes molaridades se muestran en los anexos.

Ya confeccionadas las briquetas de cuarzo y ortoclasa son sometidas a un pulido, con una pulidora con su respectivo paño, se le agrega alúmina con una granulometría de 0,03 micrómetros para eliminar la capa de óxido formada en su parte superior. Este proceso se debe realizar alrededor de 5 min por briqueta, para distintas concentraciones de reactivos y distintos pH. Las briquetas deben estar en excelente estado en sus superficies, una rayada generaría un error en la medición del ángulo de contacto.

Ya calibrados los equipos, se procede con la esterilización de todos los instrumentos que se utilizan como las pinzas y jeringa, para evitar todo tipo de contaminante que se pueda adherir a la superficie de la briqueta, ya que podrían producir errores en el valor del ángulo de contacto.

Se sigue con la medición del ángulo de contacto donde se introduce la muestra (briqueta) con la ayuda de una pinza, dentro de un recipiente de cuarzo, luego se agrega la solución preparada con las tres diferentes concentraciones sobrepasando la superficie superior del cuarzo. La jeringa se llena con aire y se forma una burbuja de aire en la parte superior de la muestra, teniendo cuidado de formar la burbuja donde se encuentra el mineral y no en su resina, luego se calcula el ángulo formado si se adhiere la burbuja a la superficie del mineral.

Los ángulos de contacto medidos fueron usando hexamina a tres dosis de

concentraciones y cinco pH distintos, el barrido de pH elegido fue 2, 4, 6, 8 y 10. Para cada pH se realizaron tres mediciones a tres diferentes tiempos: cuando fue depositada la burbuja o tiempo 0, luego al minuto y el tercer dato a los dos minutos. En cada medición se obtiene un ángulo izquierdo y uno derecho de la burbuja y su valor promedio de ambos ángulos, para los tres tiempos diferentes. Los valores de los ángulos promedio de cada tiempo se promedian, obteniendo el valor promedio de la tabla o el ángulo de contacto de la medición x. Para finalizar ya obtenido los tres valores de ángulo de contacto por medición, es calculada su desviación estándar, y son promediados obteniendo el valor del ángulo de contacto final.

3.3 Flotación de relave

3.3.1 Obtención de muestras

El relave fue deslamado en la malla 400, la porción del sobre tamaño fue secada en una estufa a 80°C por 12 horas. Luego esta muestra fue procesada en un separador magnético WD (20) 111-15 de tambor en húmedo de baja intensidad, para eliminar los minerales ferromagnéticos de pulpas minerales. El caudal de pulpa que paso por la unidad fue de 1,5 [L/min] usando un porcentaje de sólidos de 35%.

Posteriormente el material no magnético fue tratado en el concentrador Knelson KC-MD3 para retirar los minerales de alta densidad (pirita, hematita, calcopirita, hematita, limonita, siderita, etc) de los de baja densidad (cuarzo, ortoclasa, albita, turmalina, clarita, etc). Para esto se preparó una pulpa que alimenta al concentrador Knelson con un flujo de 3,5 [L/min].

La muestra obtenida se cuarteo para obtener una muestra representativa y así poder realizar análisis de peso específico, granulométrico, químico, mineralógico y las pruebas de flotación.

3.3.2 Determinación del peso específico

La muestra obtenida de los procedimientos anteriores, se roleo y luego se cuarteo. Repitiéndose las veces necesarias para obtener una muestra de 50 g. Para la determinación del peso específico se utilizó el método del picnómetro, éste se realiza pesando el picnómetro

vacío obteniendo un peso W_1 , luego se llenó el picnómetro con agua destilada y se tomó su peso nuevamente W_2 , posteriormente se vació el agua del picnómetro y se secó completamente para poder agregarle una porción del material al picnómetro, más o menos hasta llenar solo la superficie de la base y se pesó nuevamente W_3 , por último al picnómetro con el material se le agregó agua destilada formando una pulpa en su interior, las burbujas contenidas en la pulpa fueron removidas a través de un equipo de ultrasonido para luego obtener su peso por última vez W_4 . Este procedimiento se realizó cuatro veces descartando una y solo quedándonos con tres resultados de los cuales se calculó un promedio, estos resultados se determinaron a través de la fórmula de peso específico:

$$Pe = \frac{W_3 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} * d, \quad [\text{kg/L}]$$

Donde:

$W_2 - W_1$ = peso del mineral.

$(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)$ = volumen del mineral.

3.3.3 Análisis granulométrico

La muestra fue roleada y luego cuarteada las veces necesarias hasta obtener muestras para desarrollar el análisis granulométrico. Este análisis se realizó en seco usando un rotap y una batería de tamices compuesta de 8 tamices desde la malla 65 a 400 malla A.S.T.M. El análisis se ejecutó por un tiempo de 10 minutos, luego se pesó el mineral contenido en cada tamiz. De esta manera se obtiene la distribución granulométrica para cada muestra.

3.3.4 Análisis químico

Los análisis químicos fueron realizados usando la técnica colorimétrica para el fósforo, volumétrica del dicromato de potasio para el hierro y la sílice, aluminio, calcio, magnesio y sodio por espectroscopia de absorción atómica vía fusión directa y el azufre usando el Leco.

3.3.5 Análisis mineralógico

El análisis mineralógico del relave fue realizado mediante la tecnología QEMSCAN™, que significa en inglés Evaluación Cuantitativa de Materiales mediante Microscopio Electrónico de Barrido. Es un sistema que difiere de los sistemas de análisis de imágenes en que está configurado para medir la variabilidad mineralógica basándose en la química a escala micrométrica.

3.3.6 Reactivos

La hexamina o hexametilentetramina es una amina primaria su fórmula molecular $C_6H_{12}N_4$, suministrado por Akzo Nobel, Suecia. Tiene un peso molecular de 140.19 g/mol especificado por el fabricante se utilizó en la preparación de las concentraciones requeridas de soluciones. Es utilizado HCl y NaOH para ajuste de pH.

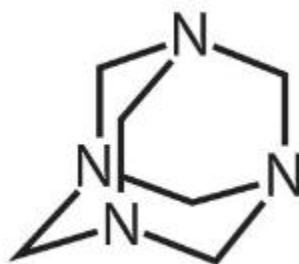


Figura N° 3.1 Formula estructural hexamina

A temperatura ambiente, la hexamina es un sólido con una densidad de 1,331 g/L. Su aspecto es el de polvo o cristales de color blanco prácticamente inodoros; los cristales formados en alcohol son rómbicos. Es muy soluble en agua y se descompone cuando es tratada con ácidos fuertes o ácidos orgánicos concentrados.

3.3.7 Pruebas de flotación

El equipo utilizado para las pruebas de flotación fue una celda Denver Metso D-12, la cual tiene un mecanismo de flotación el cual se apoya en un brazo móvil con resorte regulado que se eleva o baja en una columna mediante una manivela a través de un engranaje y se puede bloquear a cualquier altura deseada. Incluye tubo vertical de acero inoxidable con válvula de control de aire, una variedad de tanques de diferentes tamaños, hélice mezcladora, impulsores y difusores.



Figura N° 3.2 Celda Denver Metso D-12

Este equipo incluye estanques para realizar pruebas de flotación de 250, 500, 1000 y 2000 gramos. En la figura 3.1 se puede observar la celda Denver Mesto D-12.

Las pruebas de flotación se realizaron en el laboratorio del Departamento de Ingeniería en Metalurgia de la Universidad de Atacama. La finalidad es obtener un mineral de interés desde los relaves provenientes de la planta Manuel Antonio Matta Ruiz.

Antes de empezar las pruebas de flotación, se debe realizar una limpieza de la celda y del rotor-impulsor, debido al material que pudiera haber quedado de pruebas anteriores.

También se deben preparar los modificadores de pH, en este caso se utilizó ácido sulfúrico al 30, 60 y 90% de pureza. Además, se debe preparar agua a los pH requeridos para las diferentes pruebas de flotación, para evitar modificar el pH de las pruebas.

El cálculo del volumen útil de la celda a diferentes rpm (900, 1000,1200), se realizó llenando la celda totalmente con agua, luego se introdujo el rotor- impulsor y se procedió a encender el equipo hasta que se observa que el agua ya no cae de la celda. Los resultados de cada prueba se obtuvieron pesando el agua contenida dentro de la celda. Luego de esto se escogido los rpm con el que se trabajaría, en este caso se seleccionó 900 rpm.

Con la densidad del mineral, los rpm, el volumen útil de la celda y un porcentaje de sólido fijo (25%) se calculó el peso seco de la muestra. Utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{Peso de mineral} = \frac{\% \text{ Sólido} * \text{Volumen de celda}}{(100 - \% \text{ Sólido}) + \left(\frac{\% \text{ Sólido}}{\text{Densidad Mineral}}\right)}$$

Cabe señalar que la densidad del mineral fue determinada con anterioridad a través del picnómetro. Por lo tanto, ya conocido el valor del mineral seco a flotar, se puede proceder a la flotación.

Un valor aproximado de la pérdida de agua al momento de efectuar la flotación se puede calcular realizando una prueba de simulación con el mineral a flotar y las revoluciones determinadas anteriormente, es decir 900 rpm. De esta prueba se obtuvo que la cantidad de agua que se debe ir agregando sea de 250 mL, es decir, cada 2 minutos se debe agregar 40 ml. Además de eso cada 3 minutos se debe realizar una limpieza de la celda por sus alrededores con agua al pH indicado.

La celda se posiciono en la balanza y se procedió a tarar, se agregó una pequeña cantidad de agua (sólo para que el mineral no se deposite en el fondo de la celda y pueda generar algún problema en el acondicionamiento), se agrega el mineral y se enraza con agua (agua previamente regulada al pH requerido) hasta el peso de la pulpa, el cual fue calculado a través de la siguiente formula:

$$\text{Peso de la pulpa} = \frac{\text{Peso de mineral}}{\% \text{ Sólido}} * 100$$

Con la pulpa ya depositada en la celda, se agregaron los reactivos hexamina (200 g/t) (con la ayuda de una micro pipeta) y fluoruro de sodio (400 g/t), dependiendo del tipo de prueba a realizar. Se prosigue ubicando el rotor- impulsor dentro de la celda y se comienza con el tiempo de acondicionamiento de 10 min. Junto con esto fue regulado el pH con ácido sulfúrico, dependiendo de la prueba a realizar. Un minuto antes de que acabar el acondicionamiento se abrió la válvula que inyecta aire para la generación de espuma. Transcurrido el tiempo se procedió a la flotación, la cual tuvo una duración de 10 minutos. Durante esta etapa se realizó un paleo cada 15 segundo, lo que permitió obtener un concentrado a los 5 minutos y luego otro concentrado a los 5 minutos restantes, los cuales fueron recolectados con una espátula y depositados en una bandeja ubicada en el borde de la celda.

Finalmente, al terminar el tiempo de flotación, el concentrado y el relave obtenidos fueron filtrados al vacío y secados en la estufa por un tiempo aproximado de 12 horas a 100°C. Una vez ya secas las muestras, se retiraron de la estufa, se disgregaron y se pesaron. A los concentrados se les realizó un análisis granulométrico en húmedo pasándolos por la malla 325 ASTM. El sobre y bajo tamaño obtenido fueron filtrados, secados y disgregados para un posterior análisis químico.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización de las muestras

4.1.1 Análisis químico de la ortoclasa, cuarzo y relave

Las tablas 4.1 y 4.2, muestran el análisis químico de la ortoclasa y el cuarzo, se observa que la muestra tiene una pureza bastante elevada, para la ortoclasa 93,4% y para el cuarzo 94,37%. Lo que confirma que la muestra es feldespato de potasio corresponde a una ortoclasa.

Tabla N° 4.1 Composición química de la ortoclasa

Elemento	K ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO
Ley (%)	15,75	0,02	17,22	60,43	0,12

Tabla N° 4.2 Composición química del cuarzo

Elemento	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO
Ley (%)	94,37	0,26	0,17	0,14	0,13

El análisis químico realizado al relave de planta M. A. Matta después de realizarle la prueba de concentración magnética y centrifuga, para eliminar el material magnético y los minerales de alta densidad se muestran en la tabla 4.3.

Tabla N° 4.3 Análisis químico del relave de alimentación a la flotación

Análisis	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Ley [%]	3,62	58,85	8,96	6,78	3,64	2,38	1,78

La tabla 4.3 muestra que el relave resultante contiene menor concentración de hierro, indicando esto, que la concentración magnética y la centrifuga fue eficiente, y posiblemente este hierro se encuentra como hematita y/o limonita por lo cual no fue posible recuperarlo en el concentrador magnético.

4.1.2 Análisis de difracción de rayos X

Las muestras de ortoclasa y cuarzo fueron analizadas mediante difracción de rayos X (XRD) y sus espectros se muestran en las figuras 4.1 y 4.2. Se muestra que el principal mineral del feldespato purificado es el feldespato de potasio KAlSi_3O_8 (pdf N°. 80-1049), y la muestra de cuarzo es SiO_2 (pdf N°. 46-1045)

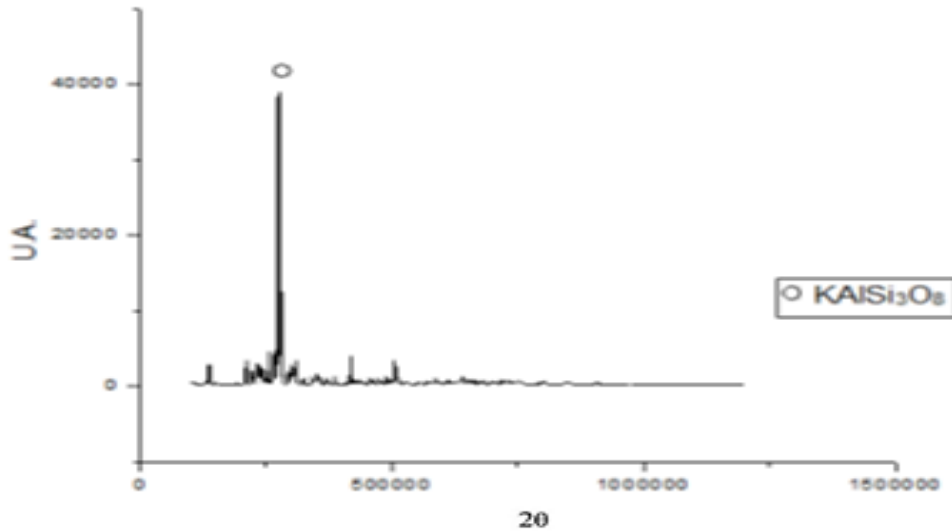


Figura N° 4.1 Difracción de rayos X de la ortoclasa.

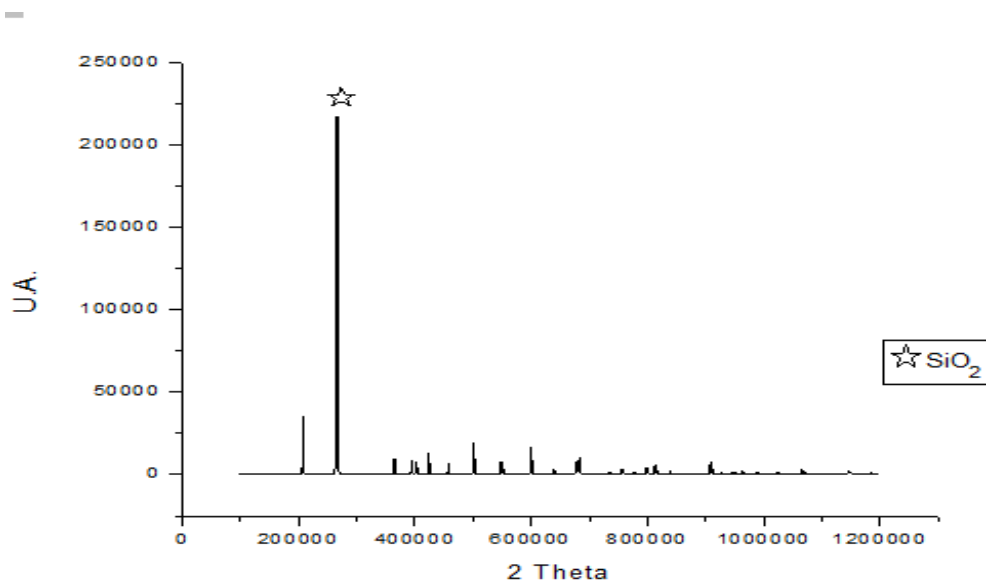


Figura N° 4.1 Difracción de rayos X del cuarzo.

4.1.3 Análisis mineralógico

El análisis mineralógico realizado al material que fue concentrado magnética y gravitacionalmente y que será alimentado a las pruebas de flotación es: silicatos duros (52,8%); filosilicatos (19,9%); óxidos e hidróxidos de Fe-Ti (7,2%); carbonato (6,3%); ortoclasa (2,3%); sulfuros (0,23%); arcillas (0,85%), yeso (0,50%); apatita (0,59%) y otros (3,4%).

4.1.4 Análisis granulométrico

El análisis granulométrico del material que será alimentado a la flotación se muestra en la tabla 4.4.

Tabla N° 4.4 Análisis granulométrico del relave

Malla		Peso	Acumulado (%)		
Tyler	(μm)	(g)	Parcial	Retenido	Pasante
65	210	44,9	3,9	3,9	96,1
100	149	164,4	14,3	18,2	81,8
150	105	220,8	19,3	37,5	62,5
200	74	192,5	16,8	54,3	45,7
270	53	176,5	15,4	69,7	30,3
325	44	72,8	6,3	76,0	24,0
400	37	40,5	3,5	79,5	20,5
-400	-38	234,6	20,5	100,0	0,0

Se observa en la tabla que el 62,5% de las partículas tiene una granulometría menor a 105 micrómetros (150 mallas), y que el 20,5% de las partículas tiene una granulometría menor a 37 micrómetros (400 mallas), esto indica supone la mayoría de los minerales se encuentran liberados.

4.1.5 Peso específico

Los tres valores conseguidos por el método del picnómetro fueron: 2,537; 2,5538;

2,4513. Estos valores se promedian donde el valor final de 2,51 kg/L.

4.2 Resultados para las pruebas de ángulo de contacto

4.2.1 Medición de ángulos de contacto para la ortoclasa en presencia del reactivo hexamina

Las pruebas se realizaron con concentraciones de reactivo hexamina a diferentes molaridades 1×10^{-3} M, 1×10^{-4} M y 5×10^{-4} M y a pH de 2, 4, 6, 8 y 10. Los modificadores de pH utilizados fueron, HCL y NaOH. Para una mayor exactitud de la medición se realizaron tres pruebas por pH, a tres tiempos distintos obteniendo un promedio de los tres valores de cada prueba tabla 4.5, para su posterior representación gráfica como se muestra en la figura 4.3.

Tabla N° 4.5 Valores de los ángulos de contacto para ortoclasa, a molaridades 1×10^{-3} M, 1×10^{-4} M y 5×10^{-4} M y a pH 2, 4, 6, 8 y 10

pH	Concentraciones [M]		
	1×10^{-3}	5×10^{-4}	1×10^{-4}
2	50,7°	0°	0°
4	56,9°	0°	0°
6	62°	53,1°	48,8°
8	71,1°	72,5°	61,5°
10	67,4°	60,6°	54,4°

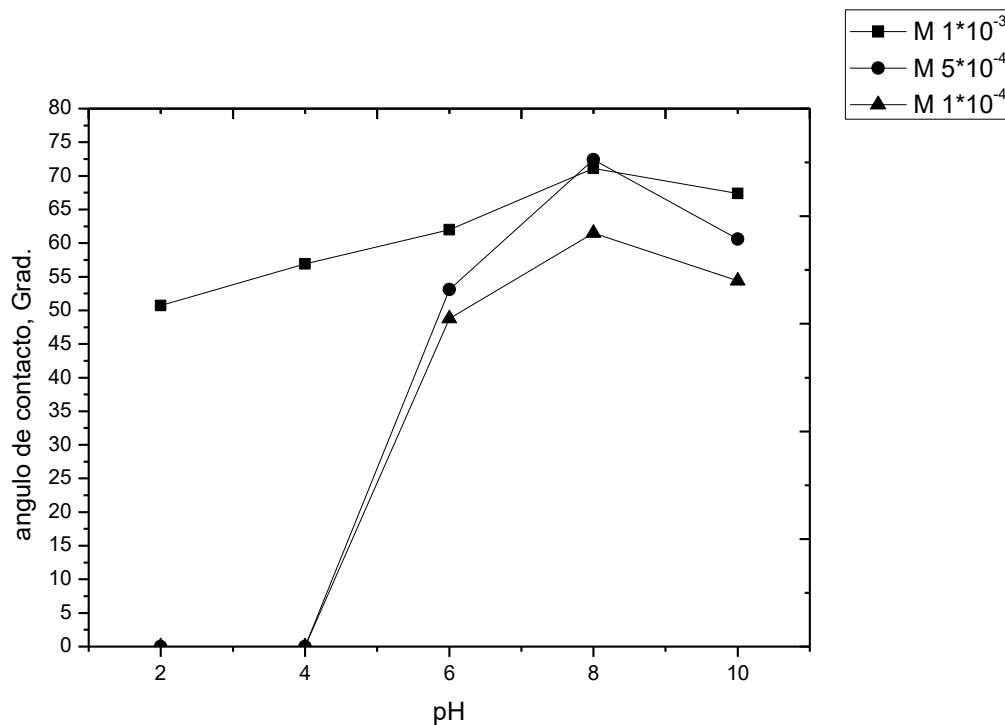


Figura N° 4.2 Valores de los ángulos de contacto de la ortoclasa en función del pH en presencia del colector hexamina a tres diferentes molaridades.

Se puede observar de la figura 4.3 que los valores del ángulo de contacto siguen una tendencia independiente de la concentración del reactivo, los cuales van creciendo de pH ácidos a básicos, llegando a sus valores más alto a pH 8 y disminuye en pH 10. El valor del ángulo de contacto más alto se encontró en las pruebas realizadas a pH 8, con una concentración de reactivo de 1×10^{-3} M y 5×10^{-4} M, con un valor de $73,6^\circ$ para ambas pruebas. Por lo tanto, el reactivo hexamina cambia las propiedades superficiales del mineral, logrando hacerlo más hidrofóbico.

4.2.2 Medición de los ángulos de contacto para el cuarzo de sección basal en presencia del reactivo hexamina

Al igual que para la ortoclasa, estas pruebas se realizaron con concentraciones de reactivo hexamina a diferentes molaridades 1×10^{-3} M, 1×10^{-4} M y 5×10^{-4} M, además de

diferentes pH de 2 a 10 con intervalo de 2. Los modificadores de pH utilizados fueron, HCL y NaOH. Para una mayor exactitud de la medición se realizaron tres pruebas por pH, a tres tiempos distintos obteniendo un promedio de los tres valores de cada prueba tabla 4.6, los cuales fueron graficados como se muestra en la figura 4.4.

Tabla N° 4.6 Valores de los ángulos de contacto para cuarzo basal, a molaridades 1×10^{-3} M, 5×10^{-4} M y 1×10^{-4} M y a pH 2, 4, 6, 8 y 10

pH	Concentraciones [M]		
	1×10^{-3}	5×10^{-4}	1×10^{-4}
2	0°	0°	0°
4	37,3°	0°	0°
6	47,1°	0°	0°
8	60,3°	60,1°	53,6°
10	66,3°	67,2°	67,2°

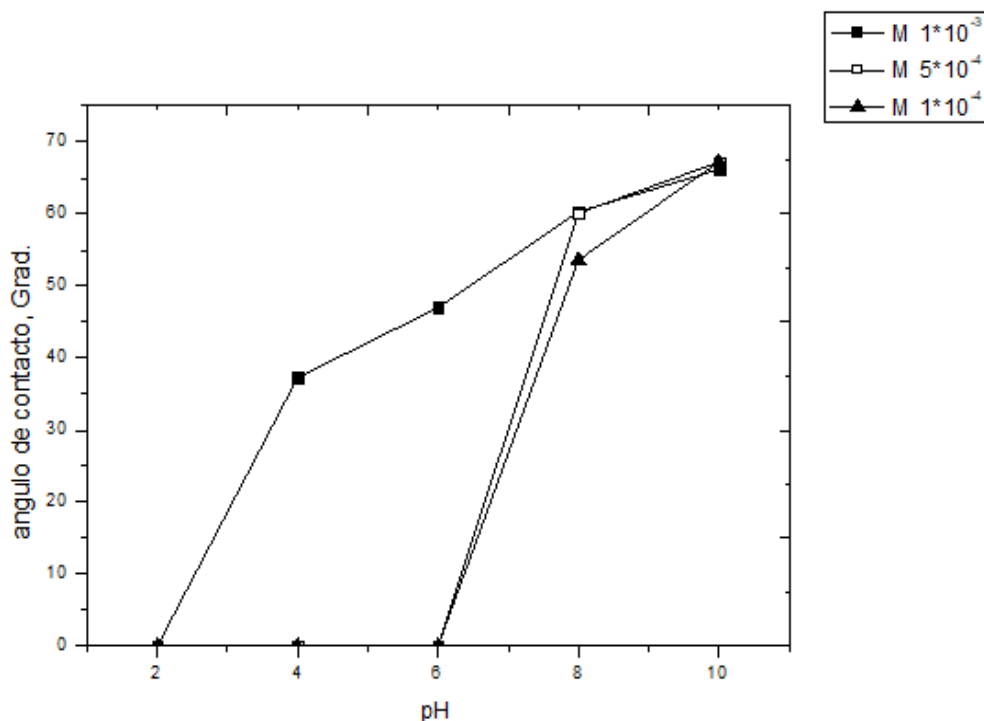


Figura N°4.3 Valores de los ángulos de contacto de cuarzo de sección basal en función del pH, en presencia del colector hexamina a tres diferentes molaridades.

Al observar la figura 4.3 se puede concluir que mientras más básico es el pH mayor será el valor del ángulo de contacto. Para pH ácidos es casi nula la flotabilidad del mineral de cuarzo a las distintas concentraciones, además de que independiente de la dosis de reactivo, el cuarzo para pH 10 posee ángulo de contactos semejantes. Sus valores más altos se encuentran con una concentración de reactivo de 1×10^{-3} M, 1×10^{-4} M y 5×10^{-4} M a pH 10, con valores de $68,3^\circ$, $67,5^\circ$ y $67,5^\circ$ respectivamente. Por lo tanto, el reactivo hexamina cambia las propiedades superficiales del mineral, logrando hacerlo más hidrofóbica.

4.2.3 Medición de los ángulos de contacto para el cuarzo de sección transversal en presencia del reactivo hexamina

De igual manera que las pruebas realizadas anteriormente, se varió la concentración de reactivo hexamina a diferentes molaridades 1×10^{-3} M, 1×10^{-4} M y 5×10^{-4} M, además de diferentes pH de 2 a 10 con intervalo de 2. Los modificadores de pH utilizados fueron el

HCL y NaOH. Para una mayor exactitud de la medición se realizaron tres pruebas por pH, a tres tiempos distintos obteniendo un promedio de los tres valores de cada prueba tabla 4.7, los cuales fueron graficados como se muestra en la figura 4.5.

Tabla N° 4.7 Valores de los ángulos de contacto para cuarzo transversal, a molaridades 1×10^{-3} M, 1×10^{-4} M y 5×10^{-4} M y a pH 2, 4, 6, 8 y 10

pH	Concentraciones [M]		
	1×10^{-3}	5×10^{-4}	1×10^{-4}
2	0°	0°	0°
4	42,7°	0°	0°
6	56,6°	38°	0°
8	62,9°	58,6°	61,5°
10	74,8°	66,3°	66,7°

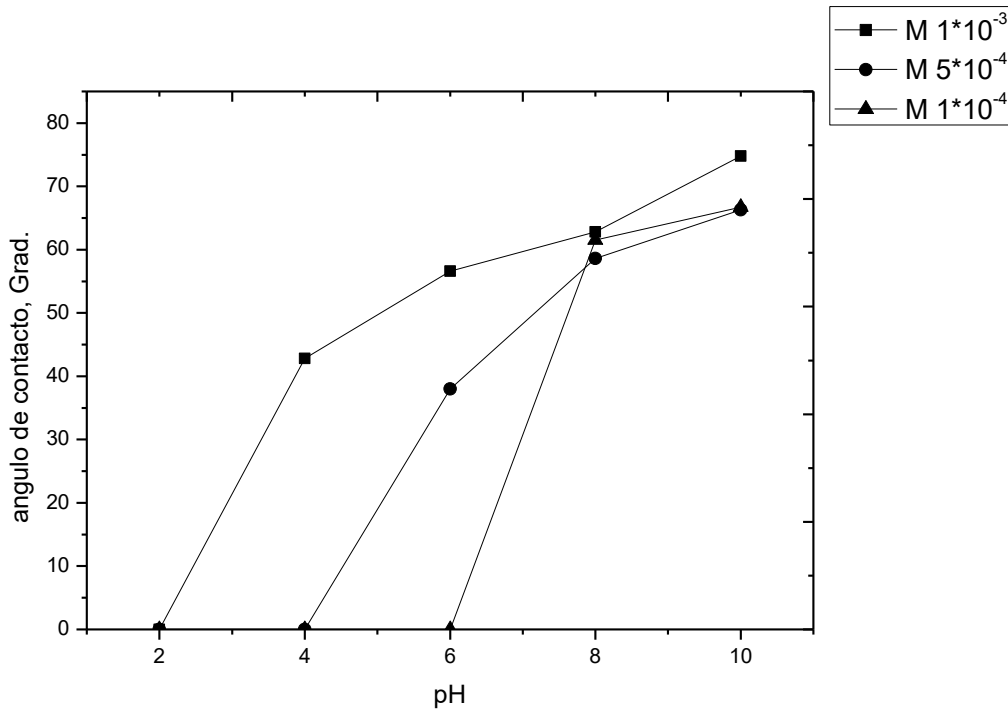


Figura 4.4 Valores de los ángulos de contacto de cuarzo de sección transversal en función del pH, en presencia del colector hexamina a tres diferentes molaridades.

De la figura 4.5. Se observa que al igual que el cuarzo de sección basal, mientras más básico es el pH mayor será el valor del ángulo de contacto. Para pH ácidos es casi nula la flotabilidad del cuarzo a las distintas dosis. Su diferencia está en los valores máximos del ángulo de contacto obtenidos, siendo la sección transversal la que obtiene ángulos de contacto más altos. Otra diferencia es, por la dependencia de la cantidad del reactivo, a mayores concentraciones se obtienen valores más altos de ángulo de contacto a distintos pH. Sus valores más altos se encuentran con una concentración de reactivo de 1×10^{-3} M, con valores de 75° y $74, 8^\circ$. Por lo tanto, el reactivo hexamina cambia las propiedades superficiales del mineral, logrando hacerlo más hidrofóbico.

4.2.4 Resultados para las pruebas de flotación

En base a los resultados obtenidos en la medición del ángulo de contacto, se determinó realizar tres pruebas de flotación a distintos pH. Los pH elegidos fueron 3, 4 y 6. Usando una concentración del colector hexamina de 200 g/t y de fluoruro de sodio de 400

g/t.

En cada prueba de flotación realizada se obtuvo un concentrado y un relave, estos productos fueron filtrados, secados, disgregados y preparados para ser enviado para realizar los análisis químicos.

En la tabla 4.8 muestra el porcentaje en peso del concentrado y relave para las leyes de SiO₂, Fe, Al₂O₃, Na₂O y K₂O prueba realizada a pH 3. La tabla 4.9 presenta el porcentaje de recuperación y relave de SiO₂, Fe, Al₂O₃, Na₂O y K₂O, prueba realizada a pH 3.

Tabla N° 4.8 Resultados de análisis químico de la prueba de flotación a pH 3

Producto	Peso (%)	Ley (%)				
		SiO ₂	Fe	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Concentrado	13,1	60,12	2,42	6,39	2,06	3,26
Relave	86,9	56,39	3,80	9,34	2,43	1,55
Alimentación	100,0	56,88	3,62	8,96	2,38	1,78

Tabla N° 4.9 Resultados de recuperación de la prueba de flotación a pH 3

Producto	Recuperación (%)				
	SiO ₂	Fe	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Concentrado	13,9	8,8	9,4	11,3	24,2
Relave	86,1	91,2	90,6	86,7	75,8
Alimentación	100	100,0	100,0	100,0	100,0

En la tabla 4.10 muestra el porcentaje en peso del concentrado y relave para las leyes de SiO₂, Fe, Al₂O₃, Na₂O y K₂O prueba realizada a pH 4. La tabla 4.11 presenta el porcentaje de recuperación y relave de SiO₂, Fe, Al₂O₃, Na₂O y K₂O, prueba realizada a pH 4.

Tabla N° 4.10 Resultados de análisis químico de la prueba de flotación a pH 4

Producto	Peso (%)	Ley (%)				
		SiO ₂	Fe	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Concentrado	17,9	61,38	1,94	4,62	1,67	4,05
Relave	82,1	55,89	3,98	9,90	2,53	1,29
Alimentación	100,0	56,88	3,62	8,96	2,38	1,78

Tabla N° 4.11 Resultados de recuperación de la prueba de flotación a pH 4

Producto	Recuperación (%)				
	SiO ₂	Fe	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Concentrado	19,3	9,7	9,3	12,6	40,5
Relave	80,7	90,3	90,7	87,4	59,5
Alimentación	100,0	100,0	100,0	100,0	100

En la tabla 4.12 muestra el porcentaje en peso del concentrado y relave para las leyes de SiO₂, Fe, Al₂O₃, Na₂O y K₂O prueba realizada a pH 6. La tabla 4.13 presenta el porcentaje de recuperación y relave de SiO₂, Fe, Al₂O₃, Na₂O y K₂O, prueba realizada a pH 6.

Tabla N° 4.12 Resultados de análisis químico de la prueba de flotación a pH 6

Producto	Peso (%)	Ley (%)				
		SiO ₂	Fe	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Concentrado	12,5	65,62	1,39	2,31	0,46	5,95
Relave	87,5	55,63	3,94	9,91	2,65	1,19
Alimentación	100,0	56,88	3,62	8,96	2,38	1,78

Tabla N° 4.13 Resultados de recuperación de la prueba de flotación a Ph 6

Producto	Recuperación (%)				
	SiO ₂	Fe	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O
Concentrado	14,4	4,7	3,2	2,5	41,6
Relave	85,6	95,3	96,8	97,5	58,4
Alimentación	100,0	100,0	100,0	100,0	100

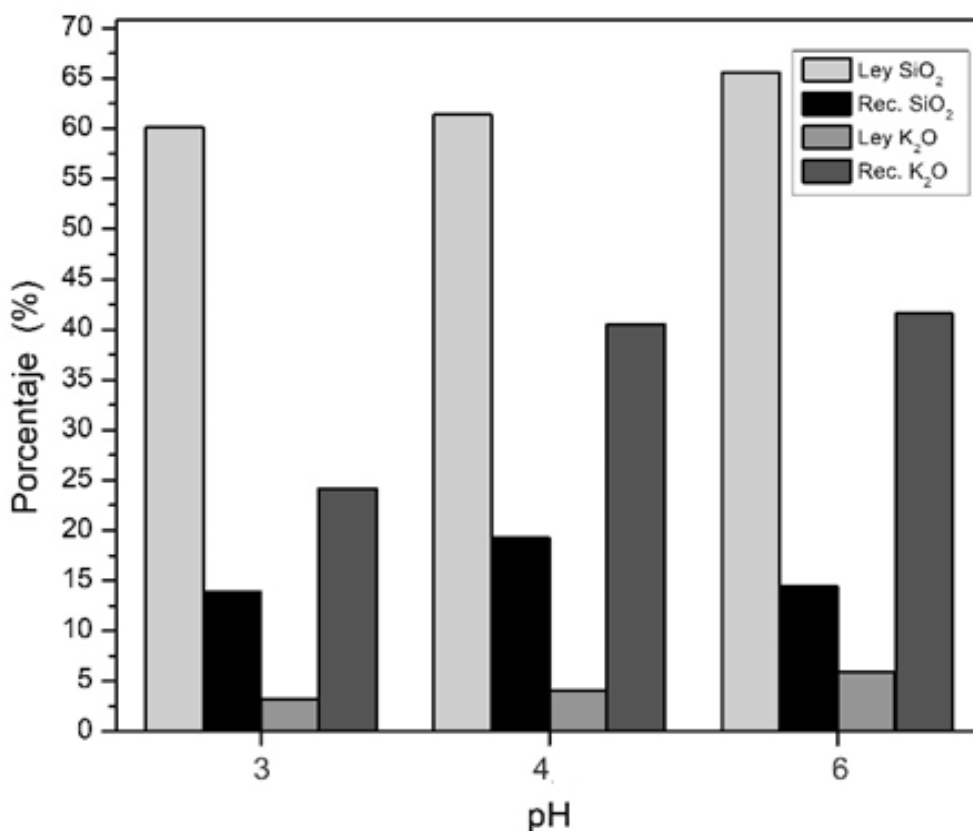


Figura N° 4.5 Representación gráfica del porcentaje de recuperación y leyes, de los elementos SiO₂ y K₂O en función del pH, en presencia del colector hexamina y fluoruro de sodio

En la Figura 4.6 se puede observar el porcentaje de recuperación SiO₂ y K₂O de las pruebas de flotación realizadas, donde solamente se varió el pH manteniendo constante la

dosis de hexamina y de fluoruro de sodio. Se percibe que a medida que el pH se hace más neutro la recuperación del K_2O se incrementa, alcanzando un valor máximo a pH 6 con un porcentaje de recuperación del 41,6%. En el caso del SiO_2 su recuperación es baja, su variación no es tan significativa a los distintos pH, donde se puede observar que su menor recuperación es a pH 3 con un 13,9%. Esto es posible que se deba al efecto depresor del fluoruro de sodio.

5. CONCLUSIONES

Como finalidad del trabajo de titulación realizado, según lo expuesto en los resultados como en las discusiones y sumados a los estudios bibliográficos, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La medición del ángulo de contacto usando el reactivo hexamina muestra, que cambia las propiedades superficiales del cuarzo y la ortoclasa logrando hacerlas más hidrofóbicas a mayor concentración de reactivo y a pH básicos.
- Se dedujo que, para lograr una buena separación de la ortoclasa y cuarzo, las pruebas de flotación se deben realizar a pH ácidos donde la ortoclasa será el concentrado y el cuarzo el relave. Por lo consiguiente se realizaron pruebas a pH 3, 4 y 6.
- De las pruebas de flotación realizadas donde solamente se varió el pH manteniendo constante la dosis de hexamina y de fluoruro de sodio. Se percibe que a medida que el pH se hace más neutro la recuperación del K_2O se incrementan, alcanzando un valor máximo a pH 6 con un porcentaje de recuperación del 41,6%. En el caso del SiO_2 su recuperación es baja, su variación no es tan significativa a los distintos pH, donde se puede observar que su mayor recuperación es a pH 4 con un 19,3%. Esto es posibles que se deba al efecto depresor del fluoruro de sodio.
- Se demuestra que al utilizar el colector y depresante nombrados anteriormente, se logró el objetivo de dividir la ortoclasa del cuarzo. Logrando a pH 6 una mayor separación, con una recuperación de K_2O de un 41,6% y una recuperación de SiO_2 de 14,4%.
- Se puede indicar que existe una separación de la ortoclasa, debido a la baja recuperación de cuarzo, pero el porcentaje de recuperación de ortoclasa no es tan significativo, sin embargo, esto podría optimizarse variando la dosis de colector y depresante en la flotación del relave.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (CMP), C. M. (s.f.). *Planta Magnetita*. Obtenido de <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Mejores%20practicass%20de%20gobernanza%20en%20materia%20de%20relaves.pdf>
- (COCHILCO), C. C. (2019). *Mejores prácticas de gobernanza*. Santiago, Chile: Dirección de Estudios y Políticas Públicas. Obtenido de <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Mejores%20practicass%20de%20gobernanza%20en%20materia%20de%20relaves.pdf>
- (MVC), M. V. (s.f.). Obtenido de <https://mineravallecentral.cl/que-hacemos/#flujo-de-relaves-antiguos-depositados-en-el-tranque-cauquenes>
- (SERNAGEOMIN), S. N. (2018). *Geoquímica de Superficie de Depositos de Relaves de Chile* . Departamento de Deposito de Relaves . Santiago, Chile : (SERNAGEOMIN), Servicio Nacional de Geología y Minería. Obtenido de https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/06/P%C3%9ABLICA_Geoquimica-de-Depositos-de-Relaves-de-Chile25062018.pdf
- (SERNAGEOMIN), S. N. (2021). *Anuario de la minería de Chile*. Santiago, Chile: (SERNAGEOMIN), Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Bashforth, F., & Adams, J. C. (1883). *An attempt to test the theories of capillary action*. London: Cambridge University Press.
- Budziak, C. E.-B. (1991). Temperature dependence of contact angles on elastomers. *Applied Polymer*, 42, 1959-1964. doi:<https://doi.org/10.1002/app.1991.070420720>
- Chen, P., Kwok, D., Prokop, R., Rio, O. d., Susnar, S., & Neumann, A. (1998). Axisymmetric Drop Shape Analysis (ADSA) and its Applications. *Studies in Interface Science*, 61-138. doi:[https://doi.org/10.1016/S1383-7303\(98\)80019-7](https://doi.org/10.1016/S1383-7303(98)80019-7)
- Contreras, G. (2021). *Mecanismo de separación de feldespatos de aluminosilicatos en relaves mineros con potencial geometalúrgico-[Magister en Ingeniería – Recursos Minerales]*. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Minas, Departamento de Materiales y Minerales, Medellín, Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80556>
- Fowkes, F. M., & Harkins, W. D. (1940). The State of Monolayers Adsorbed at the Interface Solid—Aqueous Solution. *JACS*, 3377-3386. doi:<https://doi.org/10.1021/ja01869a029>

- Fuerstenau, M., Jameson, G., & Yoon, R.-H. (Edits.). (2007). *Froth Flotation a Century of Innovation*. Colorado: INDEX. Obtenido de https://www.academia.edu/35396839/Maurice_C_Fuerstenau_Graeme_J_Jameson_R_H_Yoon_Froth_flotation_a_century_of_innovation_1_
- Harkins, W., & Feldman, A. (1 de Diciembre de 1922). The Spreading of Liquids and the Spreading Coefficient. *Journal of the American Chemical Society*, 44(12), 2665-2685. doi:<https://doi.org/10.1021/ja01433a001>
- Humber, A. J. (1995). Separation of sulphide minerals from mill tailings. *Conference on Mining and the Environment*, 1, 149-158.
- Induambiente. (Marzo-Abril de 2021). Relaves con Valor. *Induambiente*, 169, 10-12. Obtenido de <https://www.induambiente.com/especial/mineria/relaves-con-valor>
- Kowalczyk, P. B. (10 de Julio de 2015). Flotation and hydrophobicity of quartz in the presence of hexylamine. *International Journal of Mineral Processing*, 140, 66-71. doi:<https://doi.org/10.1016/j.minpro.2015.05.002>
- Lafuma, A., & Quéré, D. (2003). Superhydrophobic states. *Nature Materials*, 2, 457-460. Obtenido de <https://doi.org/10.1038/nmat924>
- Larsen, E., & Kleiv, R. (Noviembre de 2016). Flotation of quartz from quartz-feldspar mixtures by the HF method. *Minerals Engineering*, 98, 49-51. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.07.021>
- Laskowski, J., & Kitchener, J. (Abril de 1969). The hydrophilic—hydrophobic transition on silica. *Journal of Colloid and Interface Science*, 29, 670-679. doi:[https://doi.org/10.1016/0021-9797\(69\)90219-7](https://doi.org/10.1016/0021-9797(69)90219-7)
- Lizama, P. (2019). Estudio de un proceso de recuperación de cobalto desde relaves de cobre en Chile. [Titulo de ingeniero civil químico]. Universidad de Chile, Santiago, Chile. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/171022/Estudio-de-un-proceso-de-recuperaci%C3%B3n-de-cobalto-desde-relaves-de-cobre-en.pdf?sequence=1>
- MacDougall, G., & Ockrent, C. (1942). Surface energy relations in liquid/solid systems I. The adhesion of liquids to solids and a new method of determining the surface tension of liquids. *The Royal Society*, 180, 151-173. doi:<https://doi.org/10.1098/rspa.1942.0031>
- Pellant, C. (1993). *Rocas y Minerales*. Barcelona, España : Ediciones Omega S.A. Obtenido de <https://es.slideshare.net/AlfredoPangue/rocas-y-minerales-chris-pellant>
- Rao, S. R. (2004). *Surface Chemistry of Froth Flotation* (2 ed., Vol. 1). (J. Leja, Ed.) New York: Springer Science. Obtenido de <https://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=FqrTBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR25&dq=Surfa>

ce+chemistry+of+froth+flotation&ots=ZR7qkzWp-N&sig=tlGRIP024Of95-cB3MIRSTUjoCg#v=onepage&q&f=false

- Rio, O. d., & Neumann, A. (December de 1997). Axisymmetric Drop Shape Analysis: Computational Methods for the Measurement of Interfacial Properties from the Shape and Dimensions of Pendant and Sessile Drops. *Journal of Colloid and Interface Science*, 136-147. doi:<https://doi.org/10.1006/jcis.1997.5214>
- Rosen, M. (1989). *Surfactants and Interfacial Phenomena*. New York: Wiley-Interscience. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=pdTsgREZp5QC&oi=fnd&pg=PR15&dq=rosen+mj+surfactants&ots=-89E-oyOjJ&sig=Ey4-L7DukXg9zjCC6JHDBZyxDiE#v=onepage&q=rosen%20mj%20surfactants&f=false>
- SE, S. d. (2022). *Perfil del mercado del feldespatos*. Ciudad de México, México: Direccion general de desarrollo minero.
- Skinner, F., Rotenberg, Y., & Neumann, A. (1989). Contact angle measurements from the contact diameter of sessile drops by means of a modified axisymmetric drop shape analysis. *Journal of Colloid and Interface Science*, 25-34. doi:[https://doi.org/10.1016/0021-9797\(89\)90074-X](https://doi.org/10.1016/0021-9797(89)90074-X)
- Valderrama, L., Santander, M., Zazzali, B., & Carmon, M. (2014). Concentración magnética aplicada a relaves de cobre. *HOLOS*, 6, 37-44. doi:DOI: 10.15628/holos.2014.2623
- Valderrama, L., Zazzali, B., Chamorro, J., & Santander, M. (2015). Desulfuración de relave mediante la flotación de sulfuros de hierro. *HOLOS*, 7, 124--131. Obtenido de DOI: 10.15628/holos.2015.3773
- Vieira, A. M., & Peres, A. E. (25 de Marzo de 2007). The effect of amine type, pH, and size range in the flotation of quartz. *MINERALS ENGINEERING*, 20, 1008-10013. doi:<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2007.03.013>
- W. Zhang, M. W. (1989). Desalination, Membrane Characterization by the Contact Angle Technique: II. Characterization of UF-Membranes and Comparison between the Captive Bubble and Sessile Drop as Methods to obtain Water Contact Angles. *ScienceDirect*, 72, 265-273. doi:[https://doi.org/10.1016/0011-9164\(89\)80011-6](https://doi.org/10.1016/0011-9164(89)80011-6)
- Young, H. D., Freedman, R. A., & Ford, A. L. (2009). *Física Universitaria* (12 ed., Vol. 1). México, México: Pearson educación. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://physica.cloud/ajab/uploads/2018/10/Hugh-D.-Young-Roger-A.-Freedman-A.-Lewis-Ford-University-Physics-with-Modern-Physics-with-MasteringPhysics%C2%AE-13th-Edition-Addison-Wesley-2011.pdf>

- Young, T. (1805). An essay on the cohesion of fluids. *The Royal Society*, 65-87. Obtenido de <https://doi.org/10.1098/rstl.1805.0005>
- Yuehua, Y., & Lee, T. R. (2013). *Surface Science Techniques, Contact Angle and Wetting Properties* (Vol. 51). (B. Gianangelo, & H. Bodil, Edits.) Berlin: Springer.
doi:https://doi.org/10.1007/978-3-642-34243-1_1
- Zisman, W. (1964). *Contact Angle, Wettability, and Adhesion* (Vol. 43). Washington, DC: Advances in chemistry series. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ba-1964-0043.ch001>

7. ANEXO

7.1 Anexo A

7.1.1 Cálculo de dosificación de reactivo.

Densidad hexamina: $1,33 \text{ g/mL}$; Masa molar hexamina: $140,19 \text{ g/mol}$

Con molaridad igual a $1 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

$$\text{Masa} = \text{Molaridad} * \text{Masa molar} * \text{Volumen}$$

$$\text{Masa} = 1 \times 10^{-3} \text{ mol/L} * 140,19 \text{ g/mol} * 1\text{L}$$

$$\text{Masa} = 0,14019 \text{ g}$$

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Masa}}{\text{Densidad}}$$

$$\text{Volumen} = \frac{0,14019 \text{ g}}{1,33 \text{ g/mL}}$$

$$\text{Volumen} = 0,105 \text{ mL}$$

Molaridad mol/L	Dosificación en mL
1×10^{-3}	0,105
1×10^{-4}	0,0105
5×10^{-4}	0,0527

7.1.2 Cálculos de peso de mineral, pulpa y dosificación de reactivos para la flotación.

7.1.2.1 Calculo de peso de mineral

$$\text{Peso mineral} = \frac{\% \text{ Sólido} * \text{Volumen de celda}}{(100 - \% \text{ Sólido}) + \left(\frac{\% \text{ Sólido}}{\text{Densidad Mineral}} \right)}$$

$$\text{Peso mineral} = \frac{0.25 * 1218}{(100 - 0.25) + \left(\frac{0.25}{2.51}\right)}$$

$$\text{Peso mineral} = 358.4 \text{ g}$$

7.1.2.2 Calculo de peso de la pulpa

$$\text{Peso pulpa} = \frac{\text{Peso de mineral}}{\% \text{ Sólido}} * 100$$

$$\text{Peso pulpa} = \frac{358.4}{250} * 100$$

$$\text{Peso pulpa} = 1433.6 \text{ g}$$

7.1.2.3 Calculo dosificación de reactivos

$$\text{Reactivo(g)} = \frac{\text{Peso de mineral} * \text{Reactivo} \left(\frac{\text{g}}{\text{ton}}\right)}{1000000}$$

Reactivo	Dosificación de reactivo en g/t	Peso de mineral	Reactivo en g
Hexamina	200	358,4	0,07168
Fluoruro de sodio	400	358,4	0,14336

1.1 Anexo B

1.1.1 Tablas de las mediciones de ángulo de contacto

Las siguientes tablas presentan los resultados de la determinación de los ángulos de contacto para minerales de cuarzo y ortoclasa, usando hexamina a tres tipos de concentraciones y cinco pH distintos. Para cada pH se realizaron tres mediciones, a tres diferentes tiempos. En cada medición se obtiene un ángulo izquierdo y uno derecho de la burbuja y su valor promedio de ambos ángulos, a los tres tiempos diferentes. Los valores de

los ángulos promedio de cada tiempo se promedian, obteniendo el valor promedio de la tabla o el ángulo de contacto de la medición x. Para finalizar ya obtenido los tres valores de ángulo de contacto por medición, son promediados obteniendo el valor del ángulo de contacto final. Además, es calculada su desviación estándar.

Tabla N° 7.1 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 2 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	51,3	45,2	48,2	1,68	0,98
1	52,2	46	49,1	1,697	0,978
2	52,1	49,7	50,9	1,697	0,989
3	52,9	50,7	51,8	1,785	0,87
		Promedio	50		

Tabla N° 7.2 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 2 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	51,6	52,6	52,1	2,248	0,906
1	54,2	49,8	52	2,259	0,905
2	50,5	50,7	50,6	1,964	0,965
3	54	46,2	50,1	1,931	0,979
		Promedio	51,2		

Tabla N° 7.3 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 2 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	53,9	46,5	50,2	1,924	0,978
1	53,9	47,4	50,6	1,954	0,959
2	53	50	51,5	1,981	0,918
3	52,9	50,2	51,6	1,989	0,901
Promedio			51		

Para la ortoclasa a pH 2 con una concentración 1×10^{-3} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $50,7^\circ$ con una desviación estándar de 0,637867541.

Tabla N° 7.4 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	54,8	58,6	56,7	1,885	1,45
1	55	59,6	57,3	1,9	1,447
2	55,7	59,7	57,7	1,908	1,441
3	56,2	59,6	57,9	1,915	1,439
Promedio			57,4		

Tabla N° 7.5 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	53,1	54,6	53,9	1,661	1,279
1	53,9	55,4	54,7	1,689	1,26
2	54,2	55,1	54,7	1,687	1,262
3	54,6	55,7	55,1	1,693	1,258
		Promedio	54,6		

Tabla N° 7.6 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	58,8	56,1	57,5	1,776	1,411
1	59,8	57,6	58,7	1,789	1,403
2	60,8	57,9	59,4	1,8	1,402
3	60,9	58,3	59,6	1,808	1,397
		Promedio	58,8		

Para la ortoclasa a pH 4 con una concentración 1×10^{-3} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $56,9^\circ$ con una desviación estándar de 2,138535324.

**Tabla N° 7.7 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 6 y
concentración 1×10^{-3} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	58,7	59,7	59,2	1,803	1,489
1	58,6	61,1	59,9	1,895	1,421
2	62,2	61,5	61,9	1,827	1,484
3	62,7	61,6	62,2	1,862	1,456
		Promedio	60,8		

**Tabla N° 7.8 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 6 y
concentración 1×10^{-3} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura(mm)	Anchura (mm)
0	60,1	62,3	61,2	1,77	1,531
1	59,4	64,8	62,1	1,797	1,52
2	60,6	65,5	63	1,794	1,526
3	60,6	66,2	63,4	1,806	1,523
		Promedio	62,4		

**Tabla N° 7.9 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 6 y
concentración 1×10^{-3} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	61,7	61,4	61,5	1,742	1,552
1	62,5	62,6	62,6	1,754	1,551
2	63,5	63,3	63,4	1,768	1,55
3	63	63,5	63,3	1,799	1,503
Promedio			62,7		

Para la ortoclasa a pH 6 con una concentración 1×10^{-3} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 62° con una desviación estándar de 1,026827639.

**Tabla N° 7.10 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 8 y
concentración 1×10^{-3} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	72	71,6	71,8	1,641	1,919
1	74	72	73	1,677	1,944
2	75,6	73,6	74,6	1,681	1,942
3	75,9	73,7	74,8	1,679	1,939
Promedio			73,6		

**Tabla N° 7.11 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 8 y
concentración 1×10^{-3} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	69,3	72,5	70,9	1,845	1,933
1	69,1	72,1	70,6	1,832	1,934
2	68,5	71,8	70,2	1,834	1,931
3	71,1	73,5	72,3	1,781	1,965
		Promedio	71		

**Tabla N° 7.12 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 8 y
concentración 1×10^{-3} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	68	67,7	67,9	1,859	1,913
1	67,8	68,4	68,1	1,865	1,905
2	68,8	69,1	69	1,869	1,912
3	69,6	70,8	70,2	1,874	1,92
		Promedio	68,8		

Para la ortoclasa a pH 8 con una concentración 1×10^{-3} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $71,1^\circ$ con una desviación estándar de 2,377148151.

Tabla N° 7.13 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	62,7	67	64,9	1,306	1,156
1	63,2	67,8	65,5	1,297	1,168
2	63,9	68,6	66,3	1,299	1,181
3	64	70,4	67,2	1,292	1,189
		Promedio	66		

Tabla N° 7.14 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	67	67,9	67,4	1,607	1,628
1	67,4	67,7	67,5	1,621	1,609
2	67,7	67,9	67,8	1,604	1,620
3	67,4	68,7	68	1,604	1,622
		Promedio	67,7		

Tabla N° 7.15 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	62,4	70	66,2	1,677	1,630
1	64,2	70,7	67,4	1,678	1,634
2	68,2	71,2	69,7	1,658	1,650
3	70,2	72,1	71,1	1,632	1,684
Promedio			68,6		

Para la ortoclasa a pH 10 con una concentración 1×10^{-3} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $67,4^\circ$ con una desviación estándar de 1,331430934.

Tabla N° 7.16 Medición del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 2 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
Promedio			0		

Para la ortoclasa a pH 2 con una concentración 5×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0.

Tabla N° 7.17 Medición del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 4 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
Promedio			0		

Para la ortoclasa a pH 4 con una concentración 5×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

Tabla N° 7.18 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	48,1	48,3	48,2	1,629	1,079
1	51,1	52,8	51,9	1,599	1,174
2	53	54,8	53,9	1,589	1,216
3	55,6	56,9	56,2	1,561	1,269
Promedio			52,6		

**Tabla N° 7.19 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 6 y
concentración 5×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	49,6	49,6	49,6	1,449	1,164
1	52	51,3	51,7	1,437	1,206
2	54	53,8	53,9	1,413	1,254
3	54,5	54,7	54,6	1,406	1,269
		Promedio	52,5		

**Tabla N° 7.20 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 6 y
concentración 5×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	49	52,9	50,9	1,449	1,164
1	52,2	54,9	53,5	1,437	1,206
2	54,5	56	55,3	1,413	1,254
3	55,9	57,9	56,9	1,406	1,269
		Promedio	54,2		

Para la ortoclasa a pH 6 con una concentración 5×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $53,1^\circ$ con una desviación estándar de 0,953939201.

**Tabla N° 7.21 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 8 y
concentración 5×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	70,3	67,3	68,8	1,658	1,834
1	71,3	71,8	71,5	1,645	1,908
2	72,4	70,5	71,5	1,624	1,912
3	73,3	69	71,2	1,626	1,912
		Promedio	70,8		

**Tabla N° 7.22 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 8 y
concentración 5×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	72,5	69,9	71,7	1,744	2
1	73,6	73	73,3	1,774	2,06
2	76,1	73,3	74,7	1,784	2,08
3	75,9	73,7	74,8	1,8	2,072
		Promedio	73,6		

**Tabla N° 7.23 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 8 y
concentración 5×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	71,7	72,1	71,9	1,828	2,079
1	73,6	73,5	73,6	1,822	2,083
2	73,7	72,7	73,2	1,831	2,072
3	72,9	73,2	73,1	1,824	2,065
Promedio			73		

Para la ortoclasa a pH 8 con una concentración 5×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $72,4^\circ$ con una desviación estándar de 1,503398927.

**Tabla N° 7.24 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 10 y
concentración 5×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	61	60,9	61	1,664	1,348
1	60	61,5	60,7	1,661	1,346
2	58,9	60	59,5	1,683	1,292
3	59,3	59,1	59,2	1,675	1,296
Promedio			60,1		

Tabla N° 7.25 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	63,2	62,2	62,7	1,352	1,248
1	63,5	61,5	62,5	1,352	1,244
2	63,7	60,9	62,3	1,317	1,262
3	62,7	61	61,9	1,319	1,260
		Promedio	62,4		

Tabla N° 7.26 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	60,5	61	60,8	1,757	1,605
1	61,3	61,1	61,2	1,853	1,486
2	57,6	57,1	57,3	1,939	1,344
3	56,3	58,8	57,6	1,939	1,326
		Promedio	59,2		

Para la ortoclasa a pH 10 con una concentración 5×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de $60,6^\circ$ contactos es con una desviación estándar de 1,61212851.

Tabla N° 7.27 Medición del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 2 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
Promedio			0		

Para la ortoclasa a pH 2 con una concentración 1×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

Tabla N° 7.28 Medición del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 4 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
Promedio			0		

Para la ortoclasa a pH 4 con una concentración 1×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

**Tabla N° 7.29 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 6 y
concentración 1×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	47,9	48,6	48,3	2,139	1,028
1	47,9	48,4	48,2	2,065	1,137
2	47,8	49,3	48,5	2,172	0,983
3	48,3	50	49,2	2,192	0,965
		Promedio	48,6		

**Tabla N° 7.30 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 6
concentración 1×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	43,1	45,1	44,1	1,761	1,078
1	45,2	48	46,6	1,731	1,153
2	48,5	49,3	48,9	1,702	1,217
3	48,8	50,3	49,6	1,703	1,220
		Promedio	47,3		

**Tabla N° 7.31 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 6
concentración 1×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	50	49,1	49,6	1,542	1,066
1	50,5	51,2	50,8	1,541	1,081
2	50,8	51	50,9	1,54	1,084
3	51,5	51,1	51,3	1,543	1,085
			Promedio	50,7	

Para la ortoclasa a pH 6 con una concentración 1×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $48,8^\circ$ con una desviación estándar de 1,692877235.

**Tabla N° 7.32 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 8 y
concentración 1×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	67,5	65,5	66,5	1,500	1,509
1	61	62,2	61,6	1,580	1,341
2	60,7	56,5	58,6	1,647	1,191
3	57,3	56	56,6	1,735	1,060
			Promedio	60,8	

Tabla N° 7.33 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	64,5	65,6	65,1	1,715	1,606
1	64,3	64,5	64,4	1,743	1,569
2	58,2	59,8	59	1,877	1,308
3	57,6	58,6	58,1	1,922	1,260
		Promedio	61,7		

Tabla N° 7.34 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	65	66,8	65,9	1,422	1,487
1	64,6	66,4	65,5	1,425	1,483
2	59,2	60,4	59,8	1,555	1,273
3	57,8	56,6	57,2	1,618	1,199
		Promedio	62,1		

Para la ortoclasa a pH 8 con una concentración 1×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $61,5^\circ$ con una desviación estándar de 0,318198052.

Tabla N° 7.35 Medición N° 1 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	56,1	53,5	54,8	1,253	1,237
1	57,3	56,7	57	1,254	1,266
2	57,4	58	57,7	1,252	1,274
3	58	58,3	58,1	1,249	1,283
		Promedio	56,9		

Tabla N° 7.36 Medición N° 2 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	52,3	52,1	52,2	1,341	1,194
1	53,5	53	53,2	1,329	1,217
2	54,6	54	54,3	1,317	1,241
3	55,2	54,6	54,9	1,311	1,252
		Promedio	53,7		

**Tabla N° 7.37 Medición N° 3 del ángulo de contacto para ortoclasa a pH 10 y
concentración 1×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	50,3	49,8	50	1,324	1,081
1	52,6	51,7	52,2	1,287	1,131
2	54,6	52,9	53,8	1,277	1,156
3	55,2	53,4	54,3	1,274	1,163
		Promedio	52,6		

Para la ortoclasa a pH 10 con una concentración 1×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $54,4^\circ$ con una desviación estándar de 2,251804832.

**Tabla N° 7.38 Medición del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 2 y
concentración 1×10^{-3} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
		Promedio	0		

Para el mineral cuarzo basal a pH 2 con una concentración 1×10^{-3} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

Tabla N° 7.39 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	34,1	33,6	33,9	1,446	0,519
1	34,8	34,7	34,7	1,458	0,508
2	35,8	35,5	35,7	1,472	0,498
3	36,8	35,8	36,3	1,479	0,492
		Promedio	35,2		

Tabla N° 7.40 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	35,9	36,5	36,2	2,054	0,563
1	37,6	38,2	37,9	2,051	0,601
2	38,8	39,4	39,1	2,062	0,596
3	39,6	40,1	39,9	2,07	0,591
		Promedio	38,3		

Tabla N° 7.41 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	36,4	36,7	36,6	2,076	0,625
1	38,2	38,3	38,2	2,114	0,595
2	39,1	39	39	2,119	0,59
3	40	39,4	39,7	2,138	0,582
		Promedio	38,4		

Para el mineral cuarzo basal a pH 4 con una concentración 1×10^{-3} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $37,3^\circ$ con una desviación estándar de 1,8337689.

Tabla N° 7.42 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	43,4	44,8	44,1	1,716	0,861
1	45,2	45,9	45,6	1,731	0,868
2	45,8	46,3	46,1	1,739	0,866
3	46,9	47,5	47,2	1,742	0,879
		Promedio	45,8		

Tabla N° 7.43 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	46	46,1	46	1,49	0,893
1	46,5	46,5	46,5	1,486	0,903
2	47,7	47,1	47,4	1,496	0,901
3	48,8	48,6	48,7	1,513	0,897
Promedio			47,2		

Tabla N° 7.44 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	43,7	49,6	46,6	1,319	0,893
1	45,5	50,2	47,9	0,884	0,903
2	45,8	51,9	48,9	1,309	0,901
3	46,1	52,8	49,4	1,315	0,897
Promedio			48,2		

Para el mineral cuarzo basal a pH 6 con una concentración 1×10^{-3} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 47° con una desviación estándar de 1,2291596.

Tabla N° 7.45 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	57,6	57,8	57,7	1,282	1,137
1	57	59	58	0,747	1,146
2	57,2	59,1	58,2	0,747	1,148
3	57,4	59,4	58,4	1,263	1,157
		Promedio	58,1		

Tabla N° 7.46 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	60,5	57,9	59,2	0,969	0,938
1	60,8	58,9	59,8	0,956	0,961
2	61,7	60,3	61	0,94	0,988
3	62,9	60,1	61,5	0,939	0,992
		Promedio	60,4		

**Tabla N° 7.47 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y
concentración 1×10^{-3} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	58,7	57	57,9	0,524	1,009
1	62	62,4	62,2	0,92	1,054
2	65	64,7	64,9	0,904	1,111
3	65,6	64,7	65,1	0,902	1,114
		Promedio	62,5		

Para el mineral cuarzo basal a pH 8 con una concentración 1×10^{-3} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $60,3^\circ$ con una desviación estándar de 2,2254213.

**Tabla N° 7.48 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y
concentración 1×10^{-3} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	68,1	67,3	67,7	0,96	1,221
1	66,4	63,1	64,7	1,042	1,167
2	65,6	62,2	63,9	1,046	1,156
3	64,4	56,3	60,3	0,621	1,112
		Promedio	64,2		

Tabla N° 7.49 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	69,3	70,5	69,9	0,887	1,217
1	67,8	69,2	68,5	0,916	1,196
2	64,9	66,1	65,5	0,959	1,139
3	64,1	64,7	64,4	0,973	1,116
		Promedio	67,1		

Tabla N° 7.50 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	68,7	71	69,8	0,903	1,163
1	65,5	70	67,7	0,912	1,126
2	64	69,8	66,9	0,927	1,105
3	62,6	68,5	65,5	0,94	1,079
		Promedio	67,5		

Para el mineral cuarzo basal a pH 10 con una concentración 1×10^{-3} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $66,2^\circ$ con una desviación estándar de 1,8152709.

**Tabla N° 7.51 Medición del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 2 y
concentración 5×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
Promedio			0		

Para el mineral cuarzo basal a pH 2 con una concentración 5×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

**Tabla N° 7.52 Medición del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 4 y
concentración 5×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
Promedio			0		

Para el mineral cuarzo basal a pH 4 con una concentración 5×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

**Tabla N° 7.53 Medición del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 6 y
concentración 5×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
Promedio			0		

Para el mineral cuarzo basal a pH 6 con una concentración 5×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

**Tabla N° 7.54 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y
concentración 5×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	57	56,8	56,9	1,308	1,274
1	59,2	59,3	59,3	1,29	1,346
2	60,6	60,2	60,4	1,282	1,366
3	61,2	61,2	61,2	1,277	1,381
Promedio			59,5		

Tabla N° 7.55 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	55,7	55,7	55,7	1,365	1,3
1	58,7	58,3	58,5	1,348	1,379
2	61,2	60,9	61	1,325	1,432
3	62,8	62,1	62,4	1,310	1,462
		Promedio	59,4		

Tabla N° 7.56 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	56,6	57,4	57	1,418	1,314
1	61,5	61,5	61,5	1,375	1,42
2	62,5	62,5	62,5	1,364	1,442
3	64,8	63,8	64,3	1,37	1,512
		Promedio	61,3		

Para el mineral cuarzo basal a pH 8 con una concentración 5×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $60,1^\circ$ con una desviación estándar de 1,0972504.

Tabla N° 7.57 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	68,4	68,3	68,3	1,785	1,776
1	67,7	67,2	67,4	1,825	1,722
2	67,1	65,8	66,5	1,833	1,685
3	67,4	64,1	65,7	1,86	1,661
		Promedio	67		

Tabla N° 7.58 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	69,4	68,5	68,9	1,633	1,622
1	69,1	68,1	68,6	1,631	1,604
2	68,2	68,1	68,1	1,64	1,598
3	67,2	68,3	67,7	1,653	1,586
		Promedio	68,3		

Tabla N° 7.59 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	66,8	66,3	66,6	2,066	1,641
1	66,8	65,9	66,4	2,055	1,642
2	66,8	65,9	66,3	2,064	1,641
3	66,1	66,1	66,1	2,054	1,64
		Promedio	66,4		

Para el mineral cuarzo basal a pH 10 con una concentración 5×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $67,2^\circ$ con una desviación estándar de 1,0094347.

Tabla N° 7.60 Medición del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 2 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
		Promedio	0		

Para el mineral cuarzo basal a pH 2 con una concentración 1×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

**Tabla N° 7.61 Medición del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 4 y
concentración 1×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
Promedio			0		

Para el mineral cuarzo basal a pH 4 con una concentración 1×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

**Tabla N° 7.62 Medición del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 6 y
concentración 1×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
Promedio			0		

Para el mineral cuarzo basal a pH 6 con una concentración 1×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

Tabla N° 7.63 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	46,6	47,2	46,9	0,696	0,894
1	51,2	52,1	51,7	0,643	0,995
2	53,2	53,9	53,6	1,102	1,03
3	55,8	56,7	56,2	1,077	1,078
		Promedio	52,1		

Tabla N° 7.64 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	48	48,2	48,1	0,651	0,885
1	54,8	55,3	55	1,036	1,019
2	56,1	56,8	56,5	1,023	1,043
3	57,5	57,7	57,6	1,017	1,059
		Promedio	54,3		

Tabla N° 7.65 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	50,2	47,4	48,8	0,816	1,108
1	53,8	54,6	54,2	1,33	1,203
2	56,2	56,6	56,4	1,311	1,245
3	57,4	57,9	57,6	1,296	1,269
		Promedio	54,3		

Para el mineral cuarzo basal a pH 8 con una concentración 1×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $53,6^\circ$ con una desviación estándar de 1,2559857.

Tabla N° 7.66 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	69,3	72,4	70,8	1,323	1,613
1	67,2	68,1	67,7	1,350	1,538
2	65,2	65,4	65,3	1,377	1,482
3	64,7	65	64,9	1,381	1,470
		Promedio	67,2		

Tabla N° 7.67 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	70,9	74,8	72,9	1,248	1,585
1	66,6	67,9	67,3	1,322	1,458
2	64	66,3	65,1	1,373	1,386
3	63,9	65,7	64,8	1,373	1,386
Promedio			67,5		

Tabla N° 7.68 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	73,1	72,9	73	1,213	1,523
1	68,2	70,9	69,5	1,310	1,488
2	64,6	63,4	64	1,367	1,398
3	60,2	61,8	61	1,412	1,312
Promedio			66,9		

Para el mineral cuarzo basal a pH 10 con una concentración 1×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 67,2 con una desviación estándar de 0,3253204.

Tabla N° 7.69 Medición del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 2 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
Promedio			0		

Para el mineral cuarzo transversal a pH 2 con una concentración 1×10^{-3} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

Tabla N° 7.70 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	41,2	40,6	40,9	1,542	0,597
1	42,2	41,5	41,9	1,03	0,628
2	43,6	41,9	42,7	1,507	0,683
3	44,2	42,6	43,4	1,472	0,745
Promedio			42,2		

Tabla N° 7.71 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	43,9	41,4	42,6	1,472	0,655
1	45	42	43,5	1,027	0,605
2	45,7	43,9	44,8	1,473	0,679
3	46,5	43,9	45,2	1,489	0,66
Promedio			44		

Tabla N° 7.72 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	43,9	36,7	40,3	1,441	0,536
1	45,3	38	41,6	1,451	0,533
2	46,2	39,2	42,7	1,458	0,534
3	46,8	39,9	43,4	1,462	0,534
Promedio			42		

Para el mineral cuarzo transversal a pH 4 con una concentración 1×10^{-3} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $42,8^\circ$ con una desviación estándar de 1,1098986.

Tabla N° 7.73 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	52,5	57,1	54,8	1,538	1,338
1	53,9	57,3	55,6	1,55	1,341
2	54,4	57,9	56,2	1,572	1,335
3	57,1	59	58,1	1,64	1,327
		Promedio	56,2		

Tabla N° 7.74 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	54,4	56,2	55,3	1,95	1,09
1	56	56,7	56,4	1,915	1,14
2	56,5	57,3	56,9	1,924	1,133
3	57,1	57,6	57,4	1,928	1,132
		Promedio	56,5		

Tabla N° 7.75 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	54,9	56,3	55,6	1,849	1,355
1	55,8	56,9	56,3	1,855	1,356
2	56,9	59	58	1,874	1,356
3	56,8	60,4	58,6	1,891	1,349
		Promedio	57,1		

Para el mineral cuarzo transversal a pH 6 con una concentración 1×10^{-3} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $56,6^\circ$ con una desviación estándar de 0,4828302.

Tabla N° 7.76 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	59,9	59,2	59,6	1,469	1,238
1	61,1	59,7	60,4	1,461	1,257
2	61,5	64,5	63	1,417	1,359
3	62,3	66	64,1	1,405	1,385
		Promedio	61,8		

Tabla N° 7.77 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	58,1	59,1	58,6	1,628	1,339
1	59,3	60,2	59,8	1,624	1,364
2	61	61,8	61,4	1,605	1,409
3	63,7	62,4	63	1,581	1,469
		Promedio	60,7		

Tabla N° 7.78 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	64,1	64,6	64,4	1,539	1,591
1	65,6	66,8	66,2	1,517	1,639
2	66,3	66,8	66,6	1,512	1,647
3	66,9	67,1	67	1,509	1,655
		Promedio	66,1		

Para el mineral cuarzo transversal a pH 6 con una concentración 1×10^{-3} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $62,8^\circ$ con una desviación estándar de 2,8300103.

Tabla N° 7.79 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	75,7	75	75,3	1,606	1,772
1	75,6	74,3	75	1,606	1,77
2	75,1	74	74,5	1,621	1,759
3	74,9	73,7	74,3	1,624	1,757
		Promedio	74,8		

Tabla N° 7.80 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	76,1	78,3	77,2	1,694	1,968
1	76	73,5	74,8	1,694	1,95
2	76	72,7	74,3	1,696	1,943
3	75,9	71,5	73,7	1,7	1,936
		Promedio	75		

Tabla N° 7.81 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	75,2	75,5	75,4	1,617	1,927
1	74,5	74,8	74,6	1,623	1,913
2	74,1	74	74,1	1,633	1,894
3	73,5	74,1	73,8	1,639	1,882
		Promedio	74,5		

Para el mineral cuarzo transversal a pH 10 con una concentración 1×10^{-3} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $74,8^\circ$ con una desviación estándar de 0,2633913.

Tabla N° 7.82 Medición del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 2 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
		Promedio	0		

Para el mineral cuarzo transversal a pH 2 con una concentración 5×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

Tabla N° 7.83 Medición del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
Promedio			0		

Para el mineral cuarzo transversal a pH 4 con una concentración 5×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

Tabla N° 7.84 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	40	35,8	37,9	1,504	0,479
1	40,9	37,1	39	1,511	0,479
2	41,6	38,6	40,1	1,486	0,539
3	41,9	39,7	40,8	1,496	0,539
Promedio			39,5		

Tabla N° 7.85 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	37,5	34,5	36	1,605	0,543
1	37,8	35,6	36,7	1,561	0,688
2	40,9	37,1	39	1,485	0,914
3	41,5	39,7	40,6	1,427	1,057
Promedio			38,1		

Tabla N° 7.86 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	34,3	35,3	34,8	1,796	0,664
1	35,8	36,2	36	1,797	0,688
2	36,8	37,2	37	1,805	0,687
3	37,2	38,3	37,7	1,815	0,687
Promedio			36,4		

Para el mineral cuarzo transversal a pH 6 con una concentración 5×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 38° con una desviación estándar de 1,5403598.

Tabla N° 7.87 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	55,6	53,5	54,5	1,557	1,121
1	57,3	58,1	57,7	1,515	1,259
2	58,7	59	58,8	1,502	1,291
3	60,1	60,8	60,5	1,489	1,336
		Promedio	57,9		

Tabla N° 7.88 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	53,8	53,5	53,6	1,413	1,139
1	64,1	58,7	61,4	1,381	1,249
2	65	60,1	62,5	1,366	1,279
3	65,8	60,8	63,3	1,359	1,296
		Promedio	60,2		

Tabla N° 7.89 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	55,2	55	55,1	1,36	1,283
1	57,5	57,1	57,3	1,34	1,334
2	58,8	58,8	58,8	1,323	1,369
3	59,5	59,1	59,3	1,319	1,379
Promedio			57,6		

Para el mineral cuarzo transversal a pH 8 con una concentración 5×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $58,6^\circ$ con una desviación estándar de 1,4200205.

Tabla N° 7.90 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	67,2	66,3	66,7	1,37	1,402
1	66,7	65,8	66,3	1,377	1,396
2	65,8	65,9	65,9	1,417	1,363
3	65,3	65,2	65,2	1,424	1,351
Promedio			66		

Tabla N° 7.91 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	65,9	65,9	65,9	1,596	1,474
1	65,4	65,9	65,7	1,602	1,462
2	65,2	65,2	65,2	1,602	1,459
3	65,2	64,2	64,7	1,605	1,447
		Promedio	65,4		

Tabla N° 7.92 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	67,7	68,1	67,9	1,599	1,494
1	67,6	67,5	67,6	1,603	1,492
2	66,7	67,7	67,2	1,618	1,477
3	67	67,2	67,1	1,622	1,469
		Promedio	67,5		

Para el mineral cuarzo transversal a pH 10 con una concentración 5×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $66,3^\circ$ con una desviación estándar de 1,0613474.

Tabla N° 7.93 Medición del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 2 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
Promedio			0		

Para el mineral cuarzo transversal a pH 2 con una concentración 1×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

Tabla N° 7.94 Medición del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
Promedio			0		

Para el mineral cuarzo transversal a pH 4 con una concentración 1×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

Tabla N° 7.95 Medición del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
		Promedio	0		

Para el mineral cuarzo transversal a pH 6 con una concentración 1×10^{-4} M, el valor del ángulo de contacto es 0 con una desviación estándar de 0.

Tabla N° 7.96 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	62,4	58,2	60,3	1,846	1,642
1	64,2	58,9	61,5	1,929	1,595
2	64,4	59,7	62,1	1,919	1,605
3	64,7	59,7	62,2	1,862	1,646
		Promedio	61,5		

Tabla N° 7.97 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	60,6	59,3	60	0,772	1,031
1	62,7	61,3	62	0,695	1,123
2	63,3	62,5	62,9	1,123	1,149
3	64,3	63,4	63,8	1,118	1,162
		Promedio	62,2		

Tabla N° 7.98 Medición N° 3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	56,6	57,7	57,2	1,105	1,077
1	60,6	61,7	61,1	1,064	1,158
2	62	62,5	62,2	0,623	1,162
3	62,3	62,9	62,6	0,621	1,168
		Promedio	60,8		

Para el mineral cuarzo transversal a pH 8 con una concentración 1×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $61,5^\circ$ con una desviación estándar de 0,700594985.

Tabla N° 7.99 Medición N° 1 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	69,2	61,9	65,6	1,404	1,182
1	70,2	63	66,6	1,403	1,196
2	70,8	63,3	67,1	0,895	1,199
3	72,1	64,3	68,2	1,349	1,23
		Promedio	66,9		

Tabla N° 7.100 Medición N° 2 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	63,4	69,3	66,3	0,996	1,133
1	63,6	69,4	66,5	1,009	1,13
2	69	68,8	68,9	1,036	1,137
3	69,7	68,7	69,2	1,052	1,129
		Promedio	67,7		

**Tabla N° 7.101 Medición N°3 del ángulo de contacto para cuarzo transversal a pH 10
y concentración 1×10^{-4} M de hexamina**

Tiempo (min)	Angulo izquierdo (grados)	Angulo derecho (grados)	Promedio (grados)	Altura (mm)	Anchura (mm)
0	68,5	54,4	61,4	1,459	1,736
1	68,6	55,6	62,1	1,464	1,725
2	66,4	66,6	66,5	1,476	1,704
3	67,3	75,6	71,4	1,477	1,701
		Promedio	65,4		

Para el mineral cuarzo transversal a pH 10 con una concentración 1×10^{-4} M de hexamina, el valor del ángulo de contacto es $66,7^\circ$ con una desviación estándar de 1,2033807.

1.2 Anexo C

1.2.1 Imágenes medición de ángulo de contacto

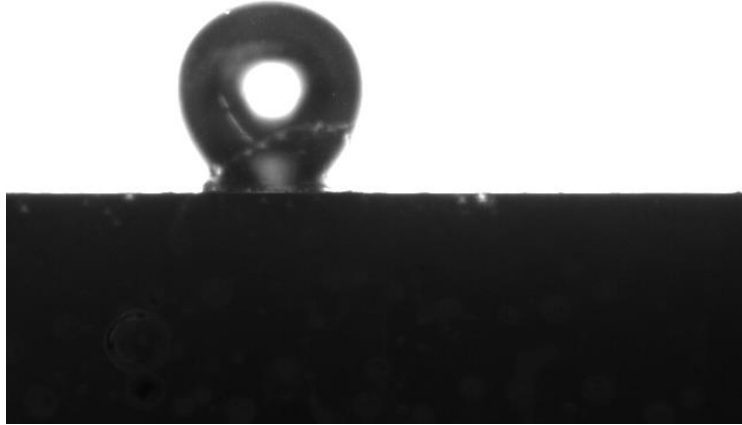


Figura N° 7.1 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 2 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

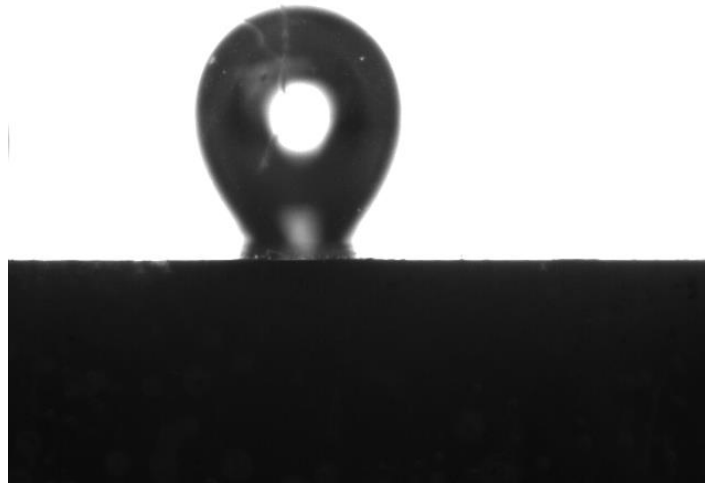


Figura N° 7.2 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 2 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

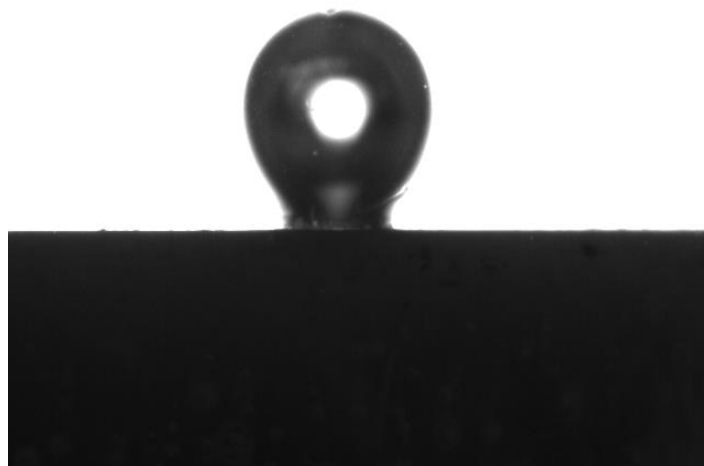


Figura N° 7.3 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 2 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

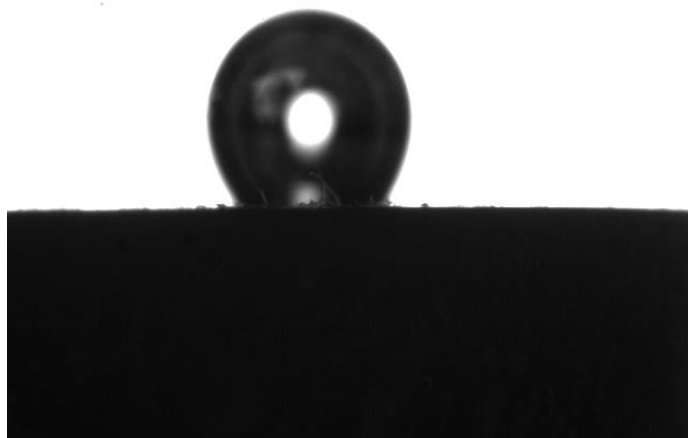


Figura N° 7.4 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.



Figura N° 7.5 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

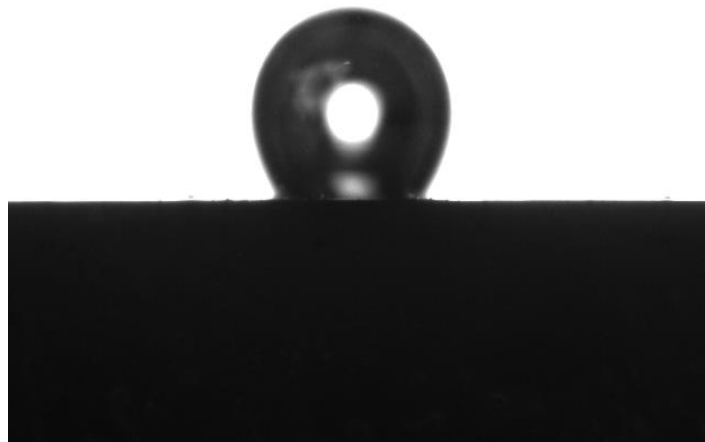


Figura N° 7.6 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

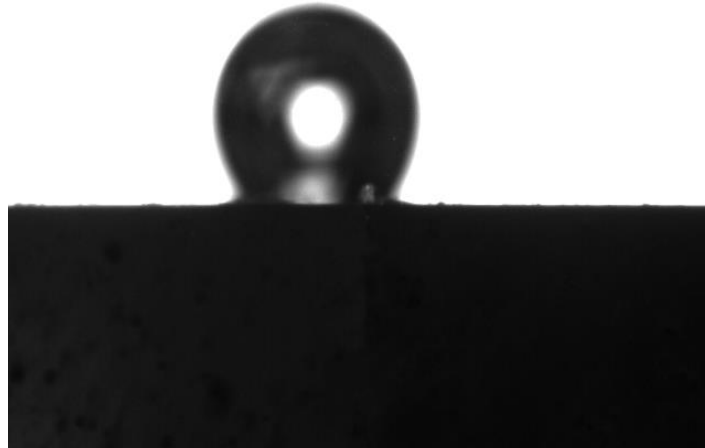


Figura N° 7.7 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

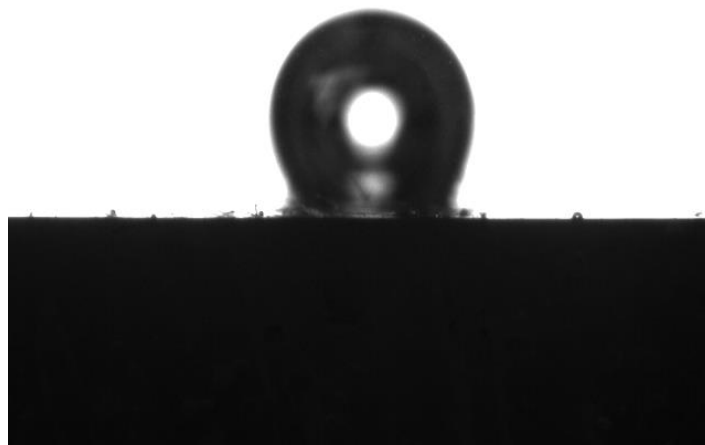


Figura N° 7.8 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

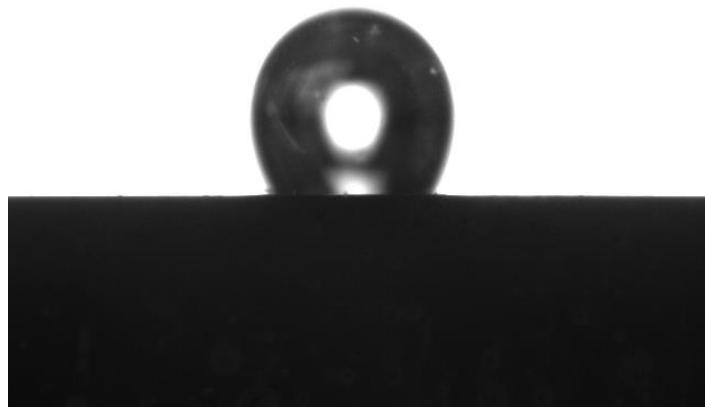


Figura N° 7.9 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

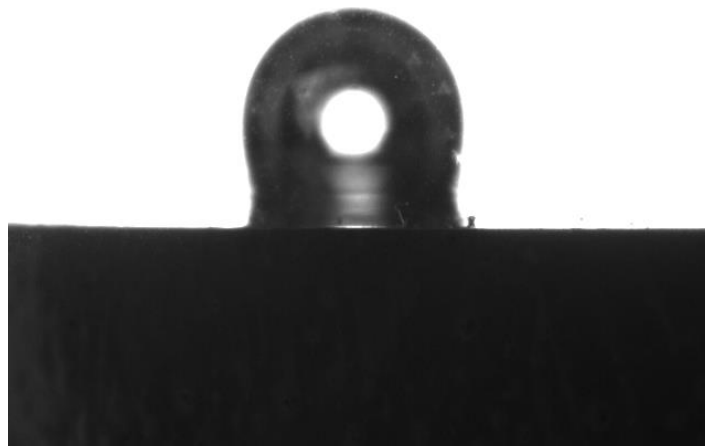


Figura N° 7.10 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

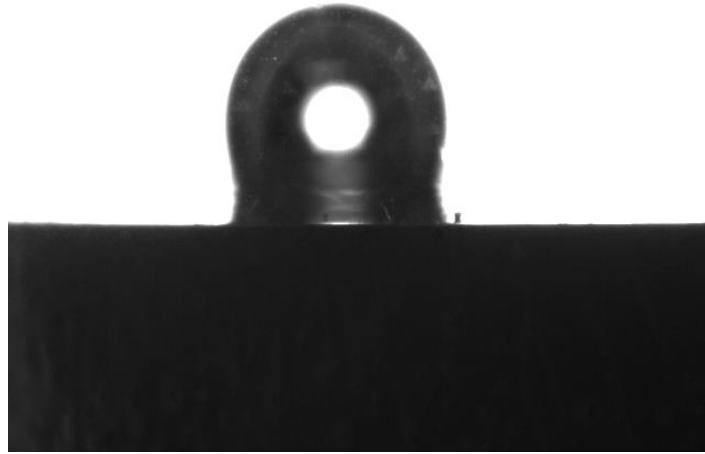


Figura N° 7.11 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

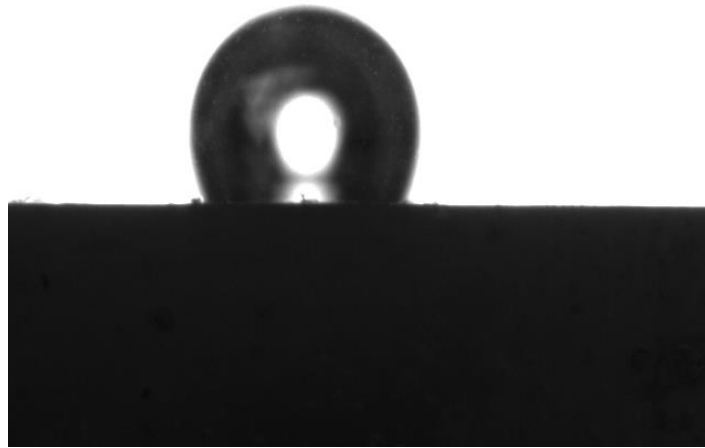


Figura N° 7.12 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

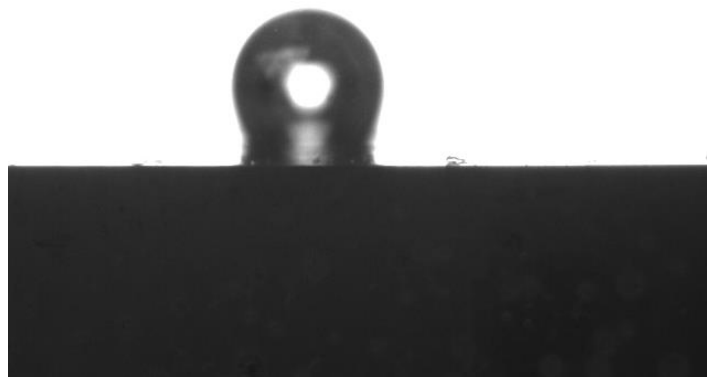


Figura N° 7.13 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

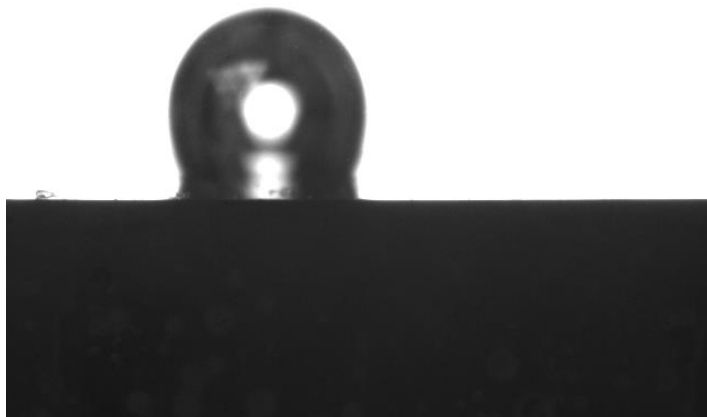


Figura N° 7.14 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

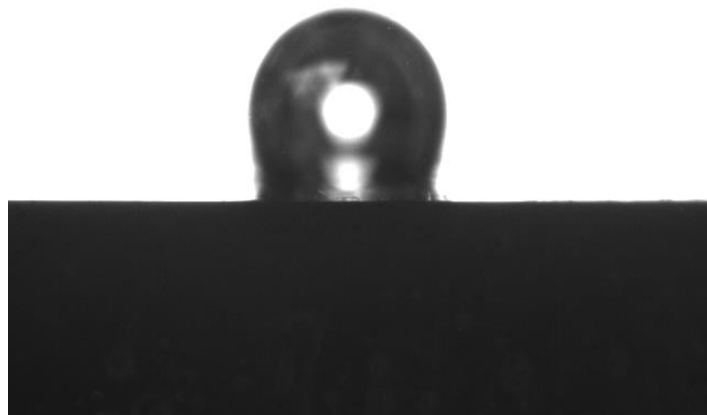


Figura N° 7.15 Burbuja de medición N° 3 para ortoclase a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

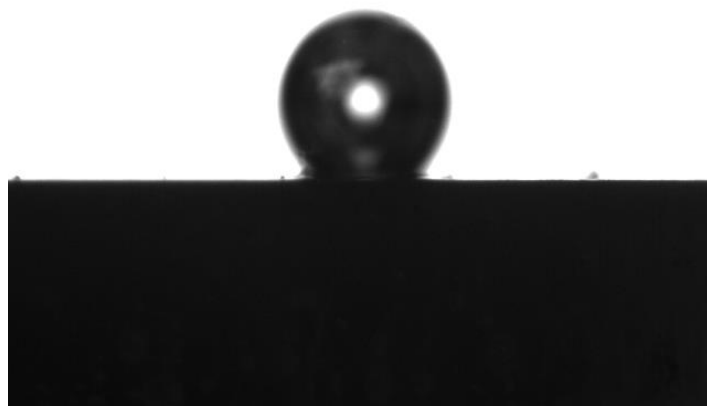


Figura N° 7.16 Burbuja de medición N° 1 para ortoclase a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

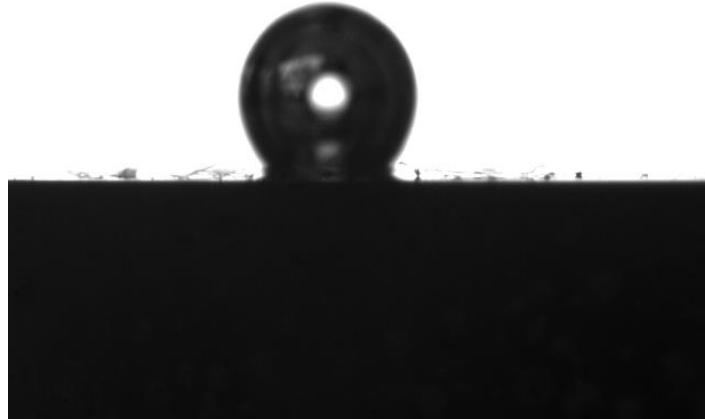


Figura N° 7.17 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.



Figura N° 7.18 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

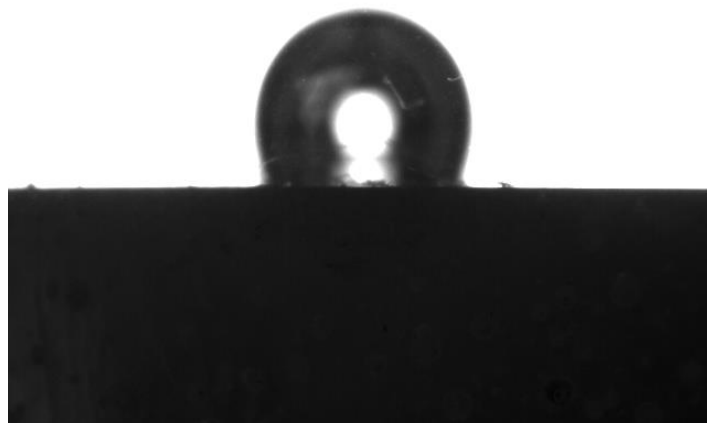


Figura N° 7.19 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

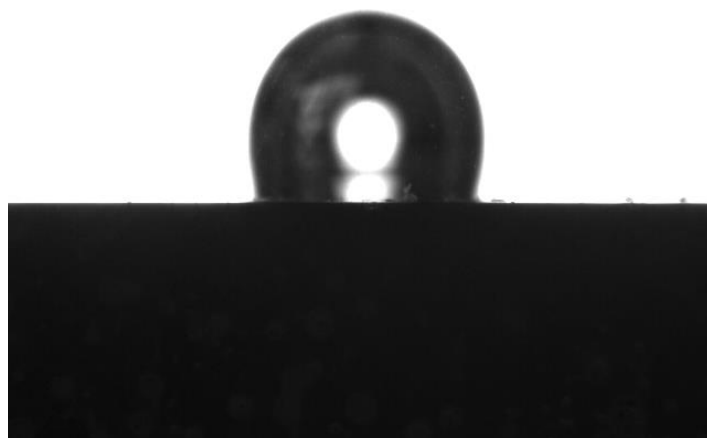


Figura N° 7.20 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.



Figura N° 7.21 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

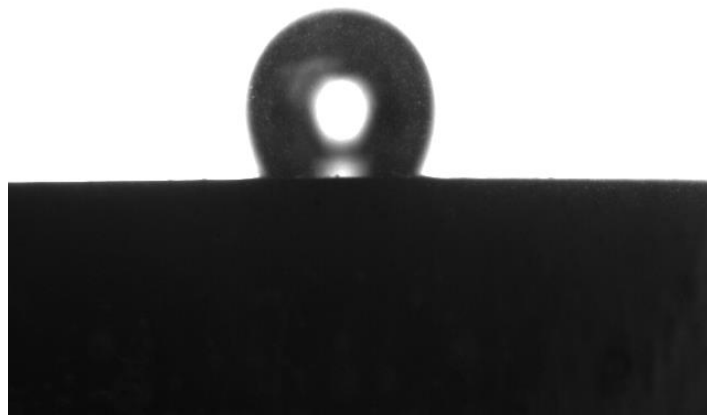


Figura N° 7.22 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.



Figura N° 7.23 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

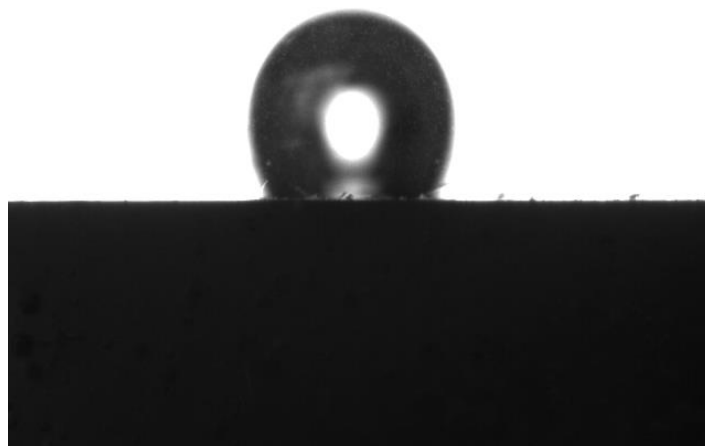


Figura N° 7.24 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

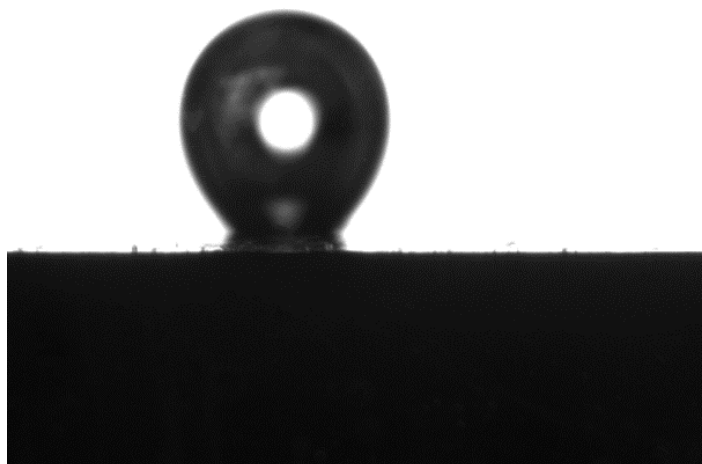


Figura N° 7.25 Burbuja de medición N° 1 para ortoclase a pH 6 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.

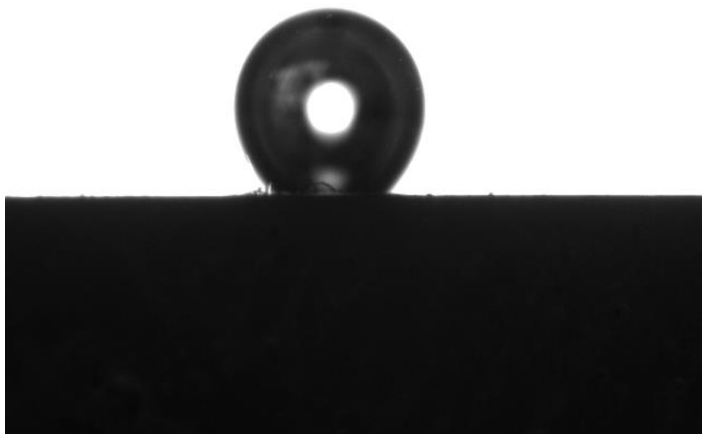


Figura N° 7.26 Burbuja de medición N° 2 para ortoclase a pH 6 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.

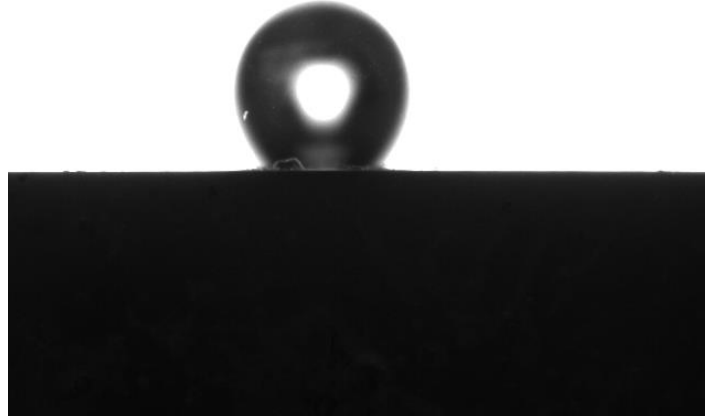


Figura N° 7.27 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 6 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.

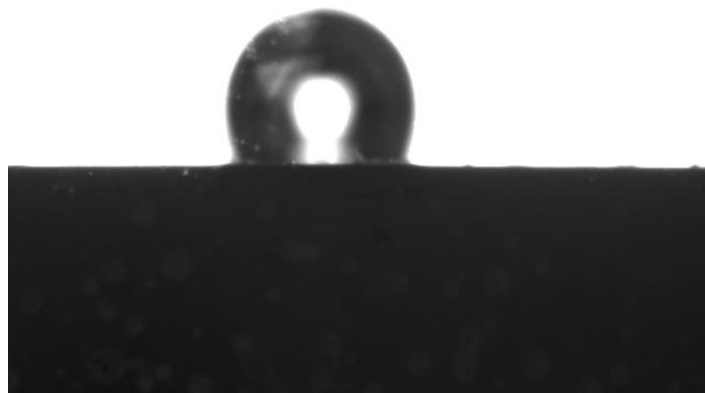


Figura N° 7.28 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.

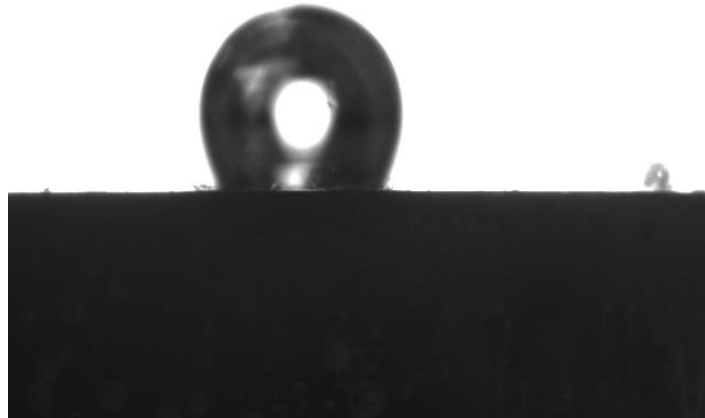


Figura N° 7.29 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.

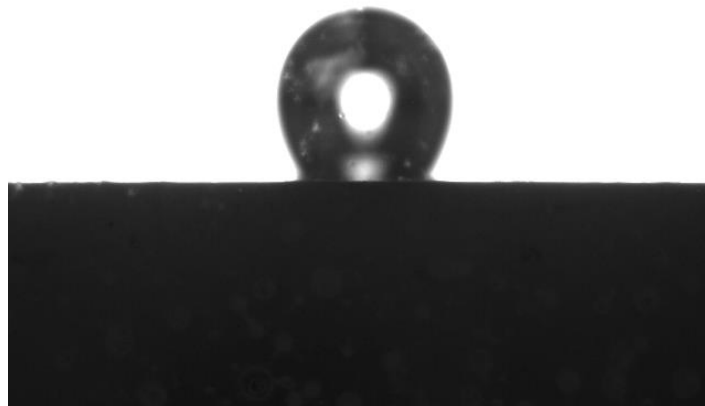


Figura N° 7.30 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.

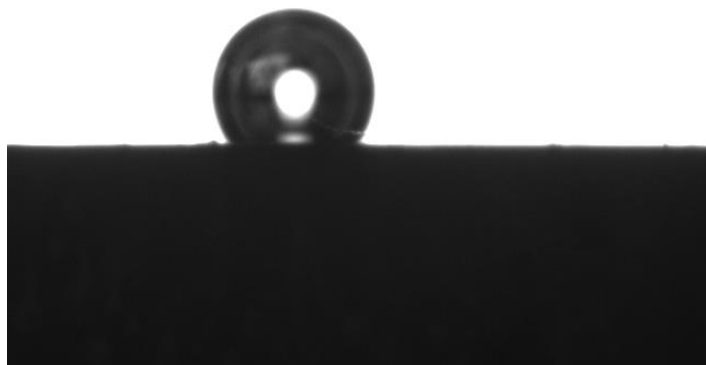


Figura N° 7.31 Burbuja de medición N° 1 para ortoclasa a pH 10, concentración 1×10^{-4} M de hexamina.

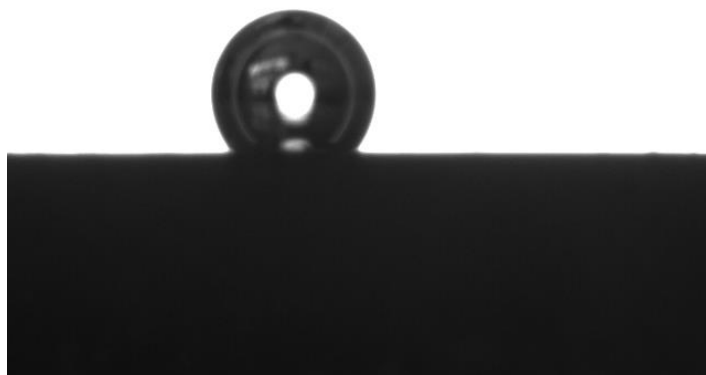


Figura N° 7.32 Burbuja de medición N° 2 para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.

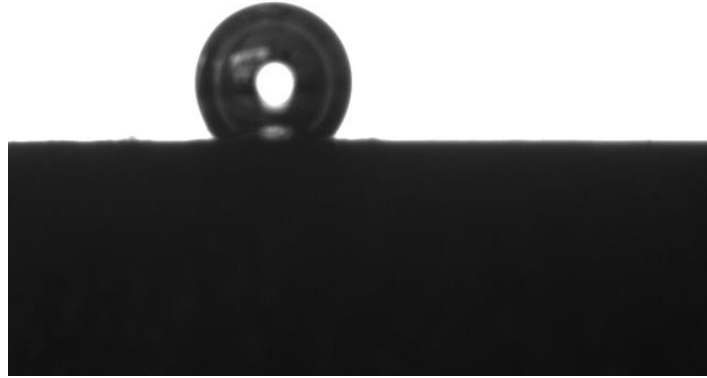


Figura N° 7.33 Burbuja de medición N° 3 para ortoclasa a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.

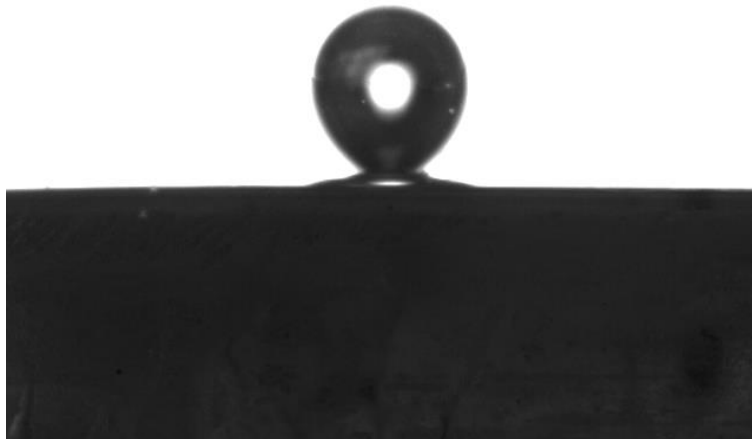


Figura N° 7.34 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

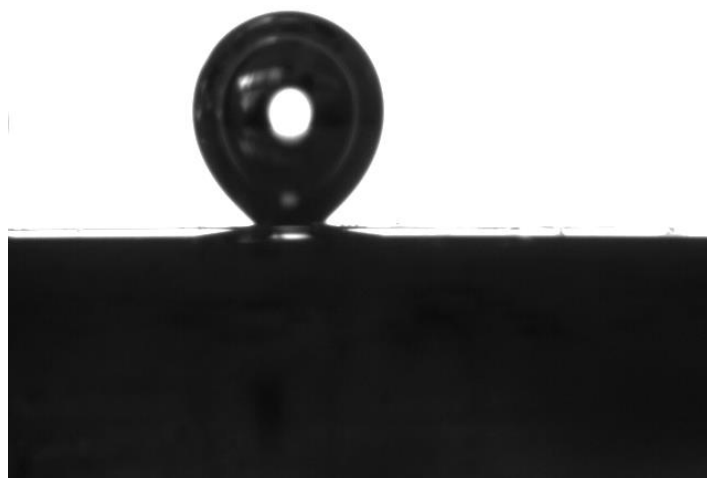


Figura N° 7.35 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.



Figura N° 7.36 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

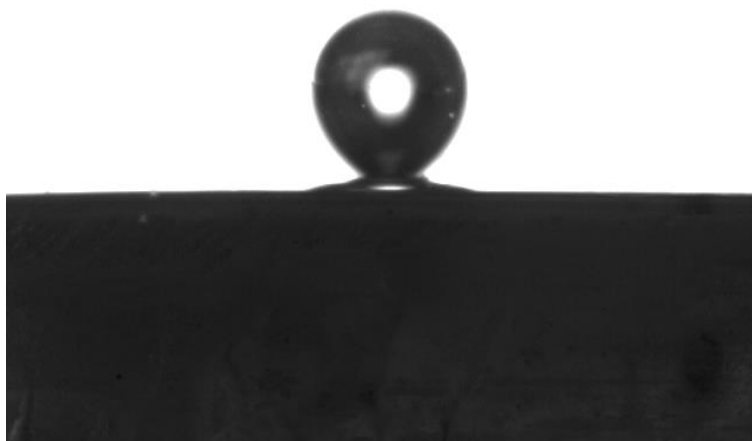


Figura N° 7.37 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.



Figura N° 7.38 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.



Figura N° 7.39 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

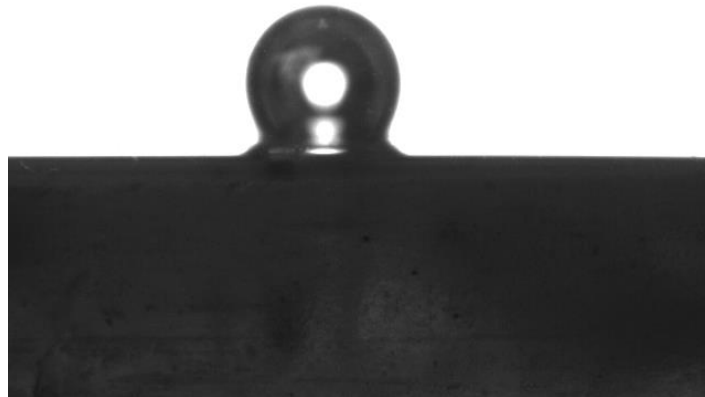


Figura N° 7.40 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

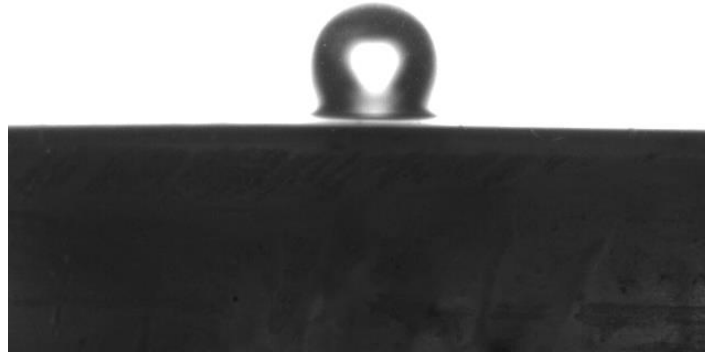


Figura N° 7.41 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.



Figura N° 7.42 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

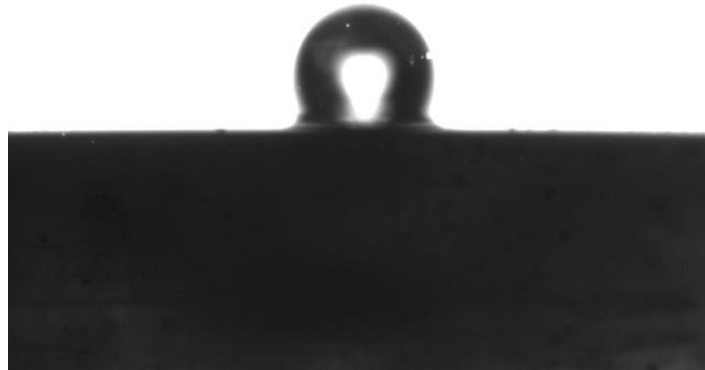


Figura N° 7.43 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

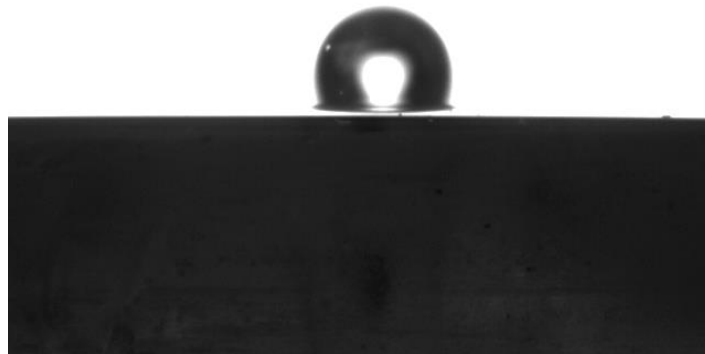


Figura N° 7.44 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.



Figura N° 7.45 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.



Figura N° 7.46 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.



Figura N° 7.47 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

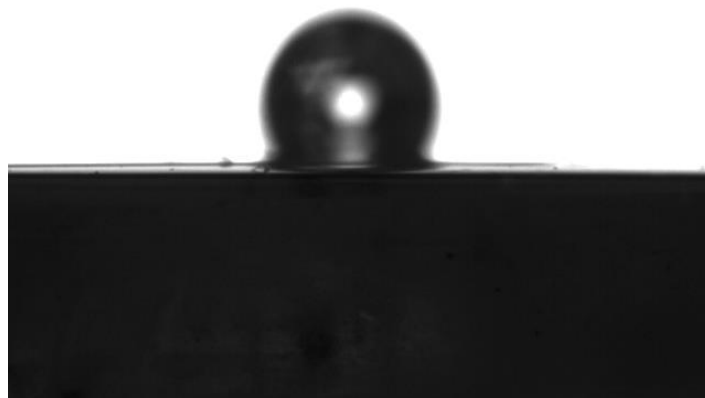


Figura N° 7.48 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

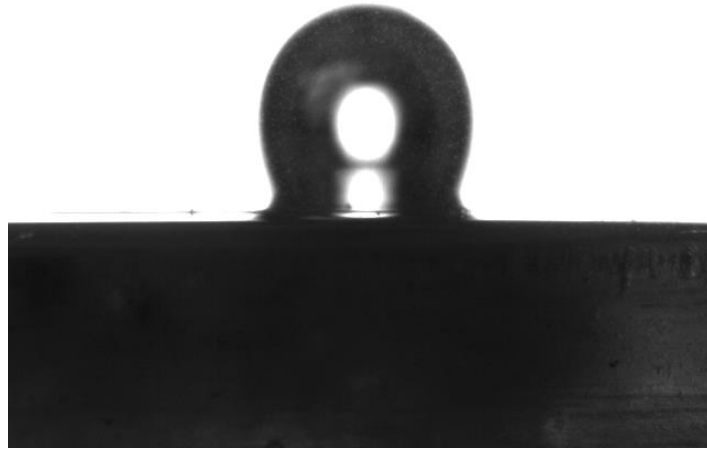


Figura N° 7.49 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.



Figura N° 7.50 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.



Figura N° 7.51 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

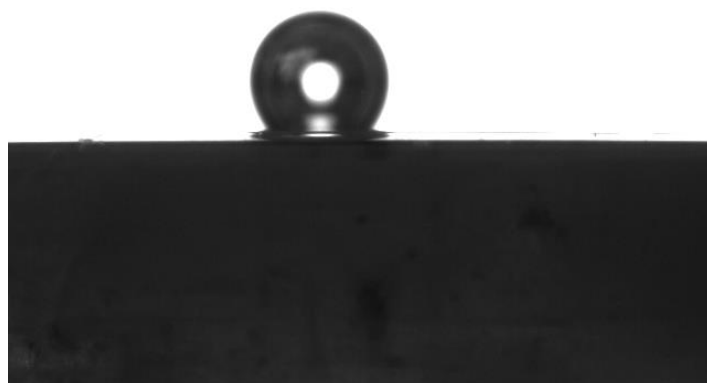


Figura N° 7.52 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.

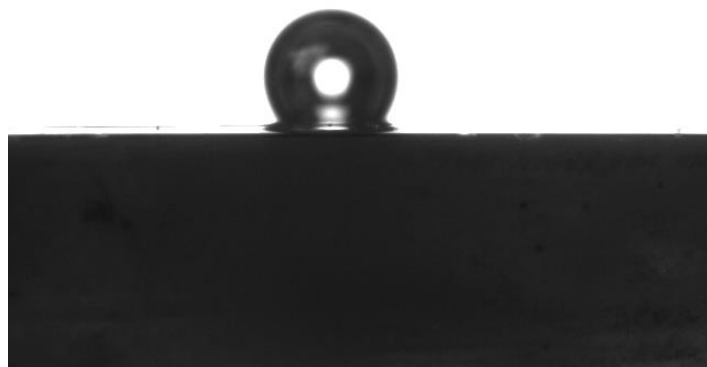


Figura N° 7.53 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.

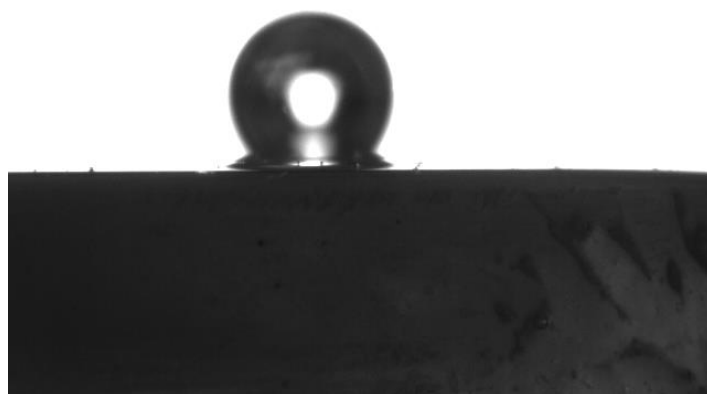


Figura N° 7.54 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.

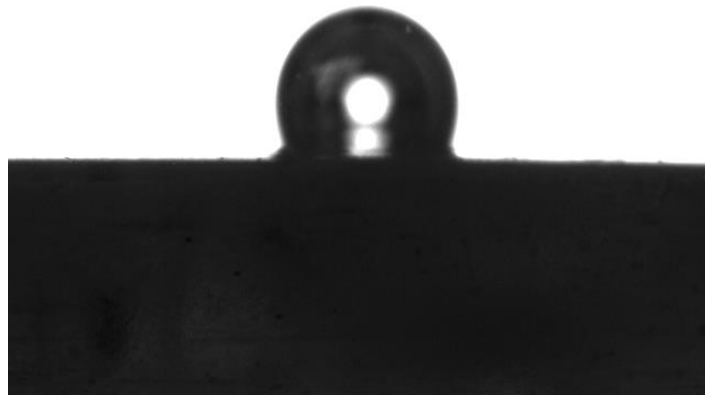


Figura N° 7.55 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.

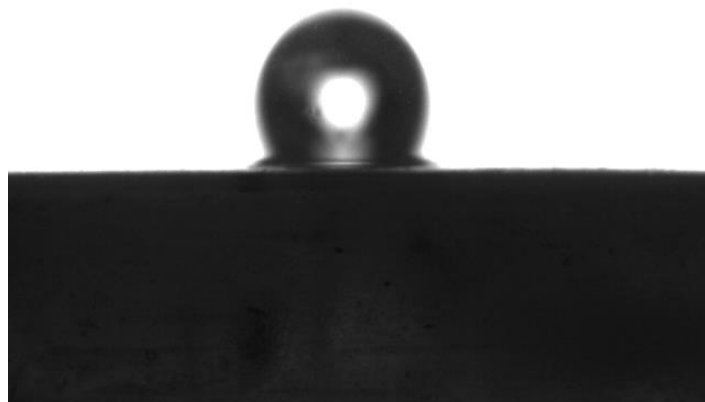


Figura N° 7.56 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.



Figura N° 7.57 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo basal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.



Figura N° 7.58 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

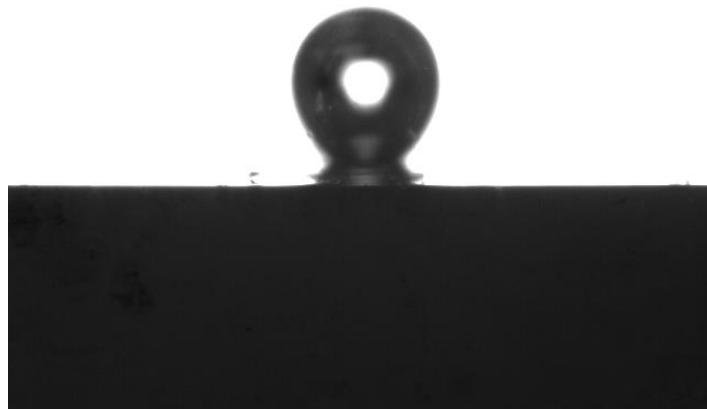


Figura N° 7.59 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

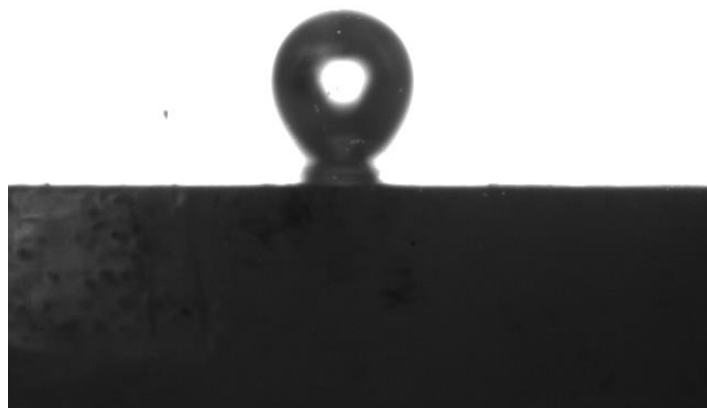


Figura N° 7.60 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 4 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.



Figura 7.61 Burbuja de medición N°1 para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

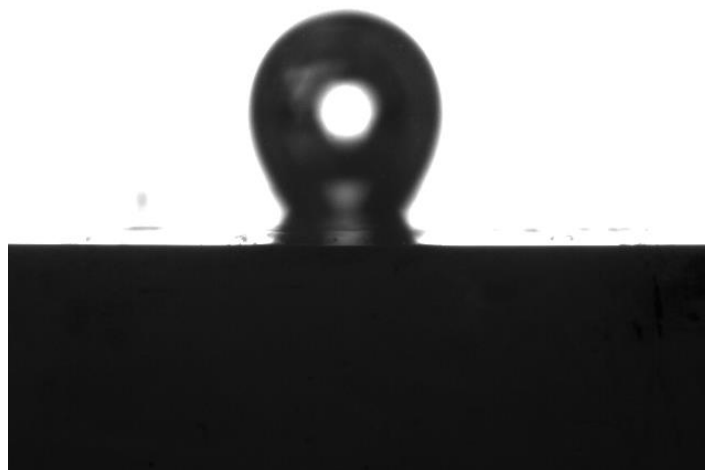


Figura N° 7.62 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

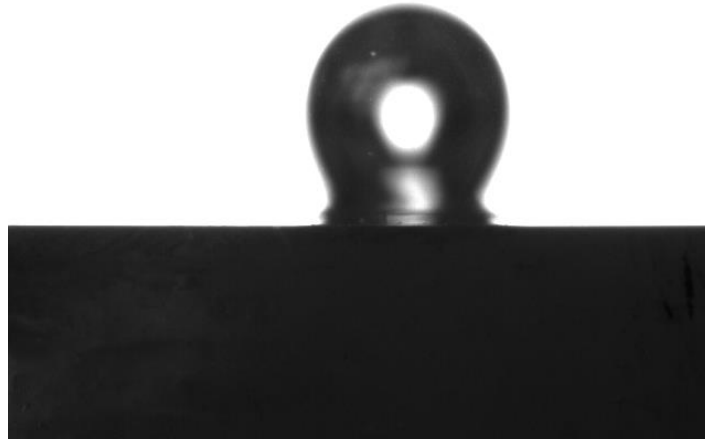


Figura N° 7.63 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

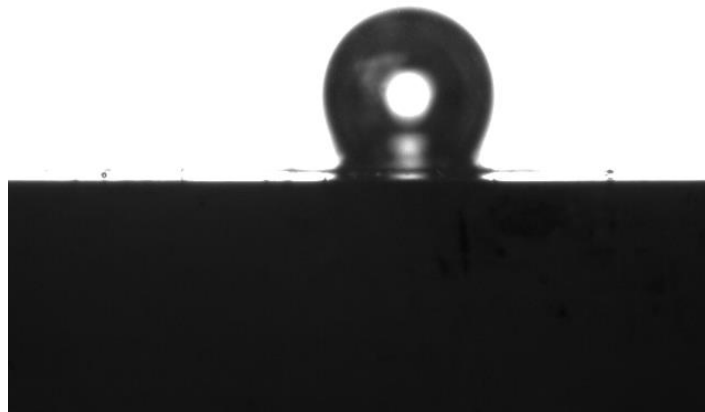


Figura N° 7.64 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

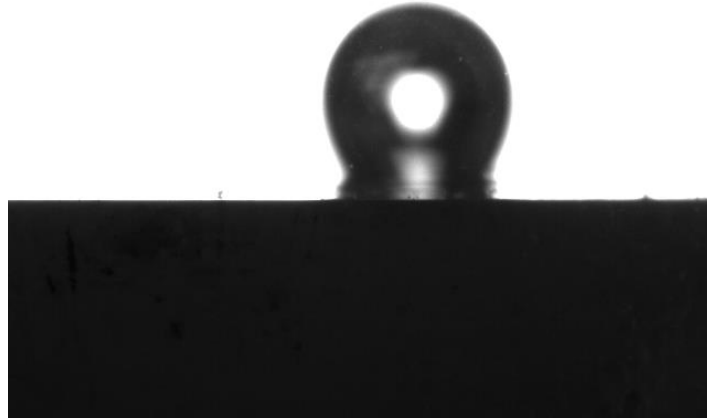


Figura N° 7.65 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

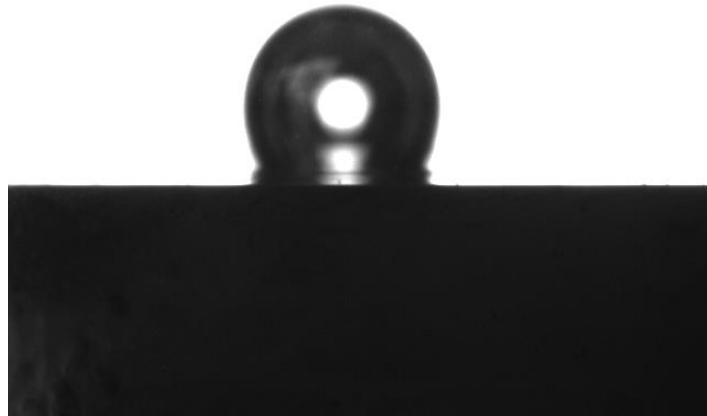


Figura N° 7.66 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

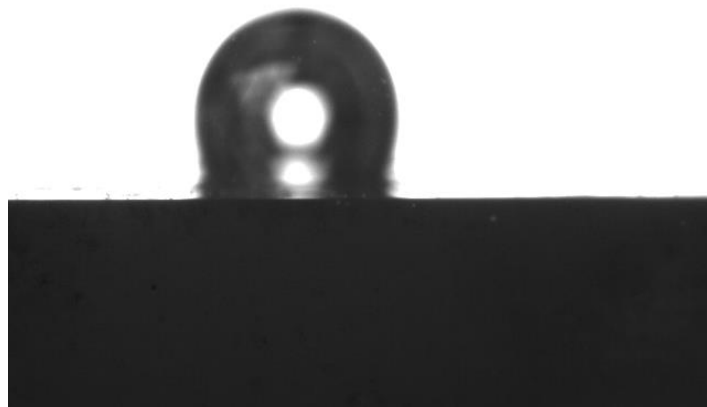


Figura N° 7.67 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

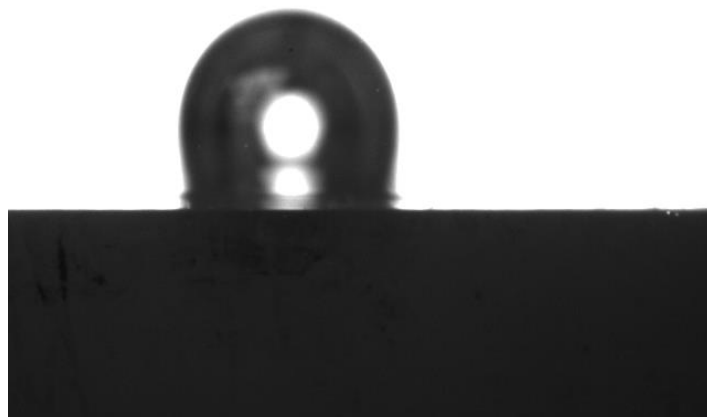


Figura N° 7.68 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.



Figura N° 7.69 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

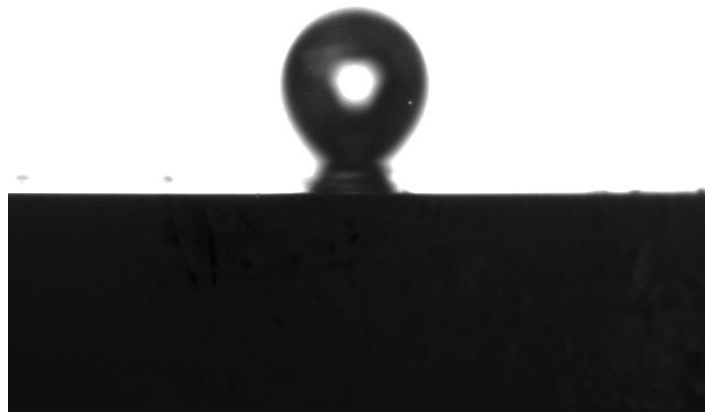


Figura N° 7.70 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

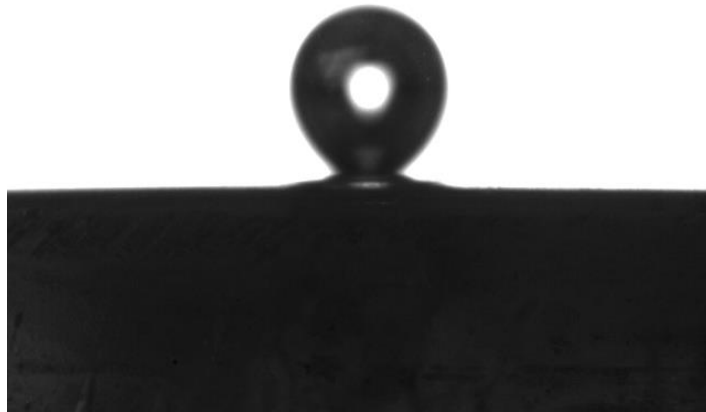


Figura N° 7.71 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

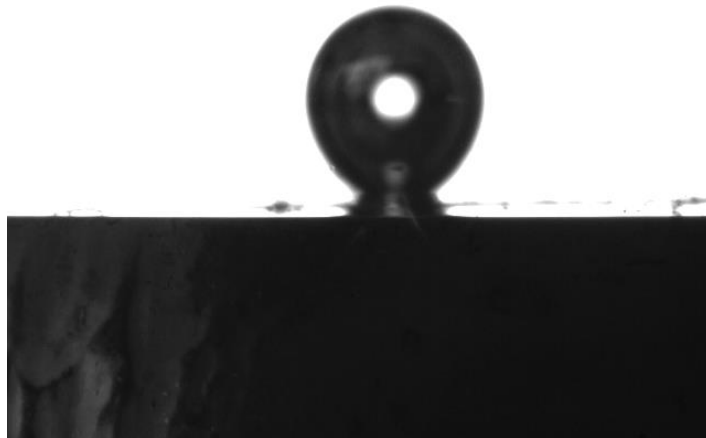


Figura N° 7.72 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 6 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

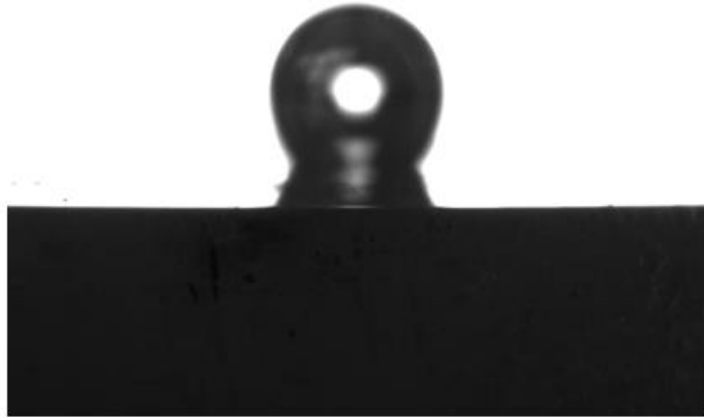


Figura N° 7.73 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

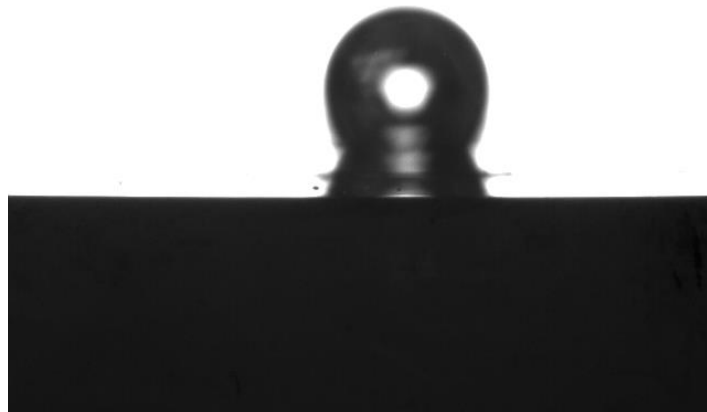


Figura N° 7.74 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

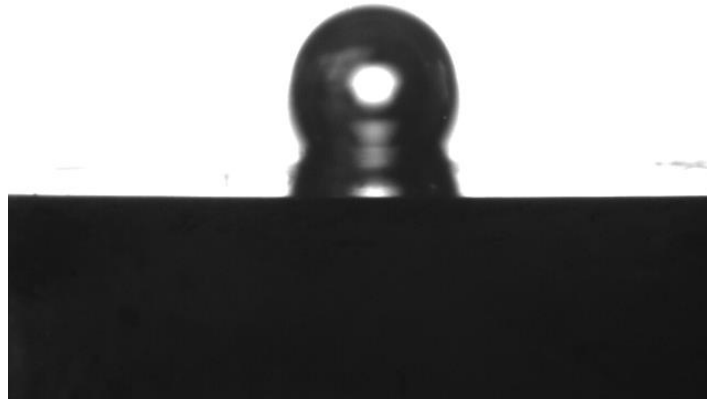


Figura N° 7.75 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

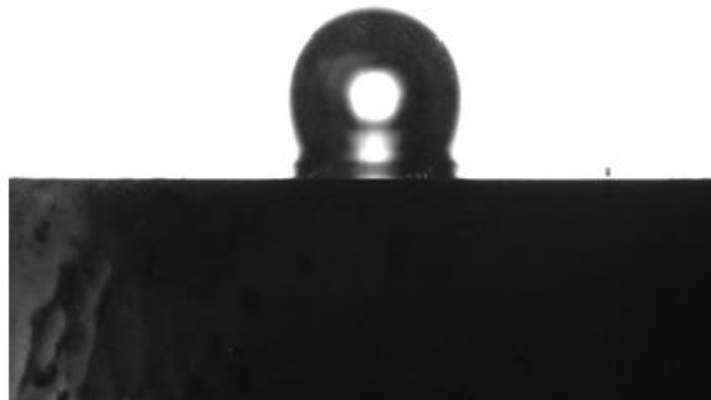


Figura N° 7.76 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

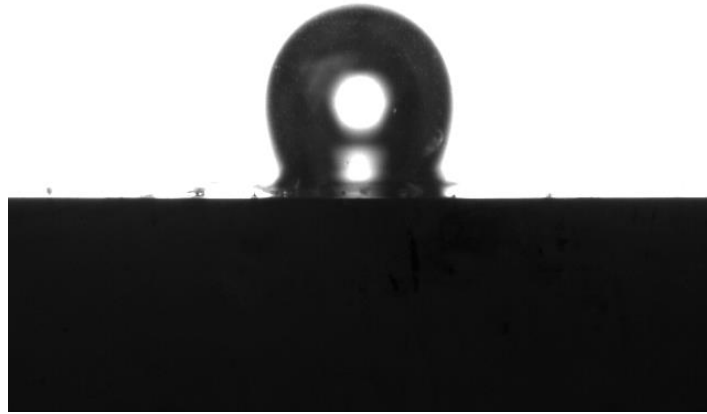


Figura N° 7.77 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.

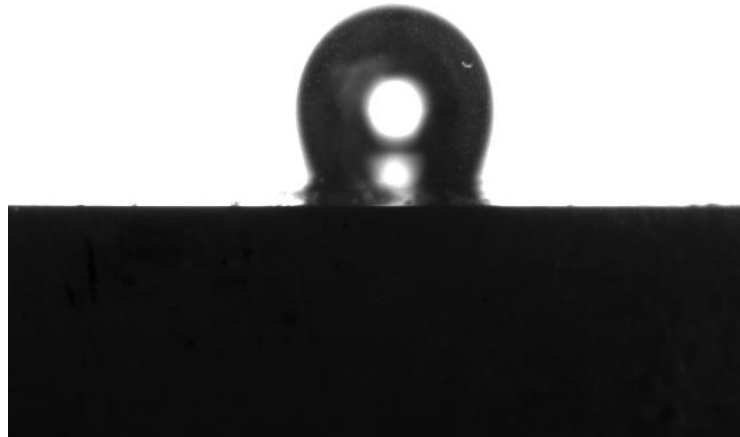


Figura N° 7.78 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 5×10^{-4} M de hexamina.



Figura N° 7.79 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.



Figura N° 7.80 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.

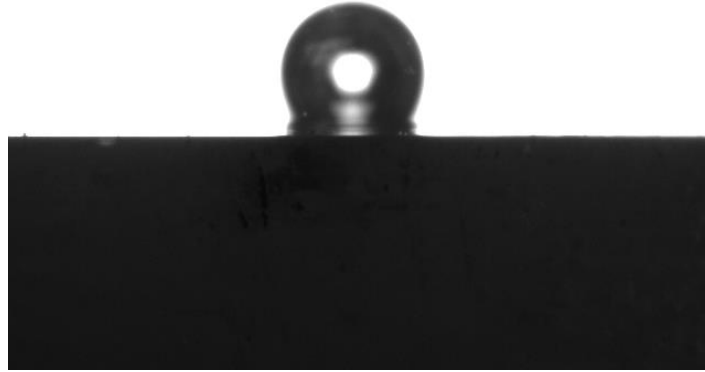


Figura N° 7.81 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 8 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.



Figura N° 7.82 Burbuja de medición N° 1 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.



Figura N° 7.83 Burbuja de medición N° 2 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.



Figura N° 7.84 Burbuja de medición N° 3 para cuarzo transversal a pH 10 y concentración 1×10^{-4} M de hexamina.

1.3 Anexo D

1.3.1 Ejemplo de cálculo del promedio de los ángulos y desviación estándar.

- ✓ Promedio y desviación estándar de los ángulos medidos en ortoclasa a pH 2 y concentración 1×10^{-3} M de hexamina.

$$\text{PROMEDIO} = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 = 50 + 51,2 + 51 = 50,7$$

X	X- \bar{X}	(X- \bar{X}) ²
50	50-50,7	0,49
51,2	51,2-50,7	0,25
51	51-50,7	0,09

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{0,49 + 0,25 + 0,09}{3 - 1}} = 0,644$$