



# UNIVERSIDAD DE CUENCA

**Facultad de Ciencias Químicas**

**Carrera de Ingeniería Química**

## **Análisis y mejora de los parámetros responsables de la eficiencia en el proceso de defloculación en la molturación vía húmeda en una empresa cerámica**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico.

### **Autores:**

Bernal Vásquez Diego Fernando

C. I: 0106854664

e-mail: diego17ber.v@gmail.com

Espinoza Brito Daniel Hilario

C. I: 1900526458

e-mail: daniespinoza\_94@hotmail.com

### **Directora:**

Ing. Sandra Catalina Peñaherrera Palacios

CI: 0102102142

**Cuenca – Ecuador**

**19 de Julio de 2021**



## RESUMEN

El ideal de las empresas cerámicas es producir y comercializar revestimientos cerámicos con altos estándares de calidad, para lo que es vital abordar conjuntamente los aspectos tecnológicos y económicos necesarios para definir las condiciones de los procesos. Esta investigación, tiene como objetivo mejorar el proceso de dosificación del defloculante de una empresa cerámica de producción de revestimientos, a través de la evaluación de las características fisicoquímicas del agua empleada como materia prima en la molienda vía húmeda y el grado en como está afecta a la defloculación. Para esto se analiza la relación que existe entre los parámetros fisicoquímicos del agua y la viscosidad de la pasta cerámica y se calcula la cantidad de defloculante óptimo en función de la calidad de agua. Además, se verifico el adecuado funcionamiento de las bombas dosificadoras de defloculante, al evaluar la eficiencia mecánica y realizar un estudio de indicador de desempeño. Por ello, en base a los resultados de la investigación se categorizó el agua empleada como materia prima en la fabricación de pavimentos gresificados como una de baja calidad, que provoca efectos negativos en la eficiencia de la defloculación debido a altas concentraciones de aluminio. Por lo que se determinó que los límites experimentales de los parámetros fisicoquímicos del agua de mayor influencia sobre la viscosidad de la pasta cerámica dentro de los siguientes rangos de control: (723,47 - 1077,45) mg/l, (540 - 575)  $\mu\Omega$  y (1,0794 - 1,1330)  $g/cm^3$  para la concentración de aluminio, conductividad electrolítica y densidad respectivamente, los óptimos de defloculante para densidades de pasta cerámica de 1,64; 1,65; 1,66 y 1,67  $g/cm^3$  se establecieron en 0,8; 0,9; 1 y 1,1 % respetivamente del contenido de defloculante en porcentaje respecto al sólido. Además, el análisis de confiabilidad de la bomba de impulsión de defloculante en base a una distribución de Weibull mostro que la confiabilidad actual de la bomba es del 18 % indicando una fase de desgaste y en base a un balance de energía mecánica se determinó una eficiencia del 0,68 %.

**Palabras claves:** Cerámica. Barbotina. Viscosidad. Defloculante. Bomba impulsión.

**ABSTRACT**

The ideal of ceramic companies is to produce and market ceramic tiles with high quality standards, for which it is vital to jointly address the technological and economic aspects necessary to define the conditions of the processes. The objective of this research is to improve the deflocculant dosing process of a ceramic coating production company by evaluating the physicochemical characteristics of the water used as raw material in wet milling and the degree to which it affects deflocculation. For this purpose, the relationship between the physicochemical parameters of the water and the viscosity of the ceramic paste is analyzed and the optimum amount of deflocculant is calculated as a function of the water quality. In addition, the proper operation of the deflocculant dosing pumps was verified by evaluating the mechanical efficiency and conducting a performance indicator study. Therefore, based on the results of the research, the water used as raw material in the manufacture of stoneware pavements was categorized as a low-quality water, which causes negative effects on deflocculation efficiency due to high aluminum concentrations. Therefore, it was determined that the experimental limits for the physicochemical parameters of the water that have the greatest influence on the viscosity of the ceramic paste within the following control ranges: (723,47 - 1077,45) mg/l, (540 - 575)  $\mu\Omega$  y (1,0794 - 1,1330)  $g/cm^3$  for aluminum concentration, electrolytic conductivity, and density respectively, the deflocculant optimums for ceramic paste densities of 1,64; 1,65; 1,66 y 1,67  $g/cm^3$  were established at 0,8; 0,9; 1 y 1,1 % respectively of the deflocculant content as a percentage of the solid. In addition, the reliability analysis of the deflocculant drive pump based on a Weibull distribution showed that the actual pump reliability is 18 % indicating a wear phase and based on a mechanical energy balance, an efficiency of 0,68 % was determined.

**Keywords:** Ceramic. Barbotine. Viscosity. Deflocculant. Drive pump.



## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	2
ABSTRACT.....	3
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	4
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	11
AGRADECIMIENTO .....	17
DEDICATORIA .....	18
INTRODUCCIÓN.....	19
OBJETIVOS .....	21
Objetivo general.....	21
Objetivos específicos .....	21
CAPITULO I.....	22
1. MARCO TEÓRICO .....	22
1.1 Proceso de fabricación de las baldosas cerámicas .....	22
1.2 Materias primas cerámicas.....	23
1.2.1 Materiales plásticos o grasos.....	23
1.2.2 Materiales no plásticos o desengrasantes .....	24
1.3 Materias primas auxiliares o transitorias .....	25
1.3.1 Agua .....	25
1.3.2 Defloculante .....	27
1.4 Reología en las suspensiones cerámicas .....	28
1.4.1 Factores que determinan la reología en suspensiones cerámicas.....	28
1.4.2 Factores que determinan las propiedades entre partículas coloidales.....	29
1.4.3 Factores que afectan la estabilidad coloidal.....	30
1.4.3.1 pH de la suspensión.....	30
1.4.3.2 Efecto de la adición de hidróxidos y electrolíticos.....	31



1.4.3.3 Efecto de la adición de polímeros .....	31
1.4.4 Defloculación de suspensiones cerámicas .....	32
1.4.4.1 Absorción de defloculantes sobre partículas .....	32
1.4.4.2 Óptimo de defloculante .....	32
1.4.4.3 Influencia del agua en la defloculación .....	33
1.4.4.4 Medida de la viscosidad .....	34
1.5 Sistema de dosificación de defloculante .....	34
1.5.1 Bombas dosificadoras para defloculantes .....	35
1.5.1.1 Bombas volumétricas alternativas .....	35
1.5.1.2 Caudal de bombas dosificadoras .....	36
1.5.2 Eficiencia de la bomba .....	37
1.5.2.1 Eficiencia volumétrica .....	37
1.5.2.2 Eficiencia mecánica .....	38
1.6 Análisis de confiabilidad para equipos .....	39
1.6.1 Función de confiabilidad .....	39
1.6.1.1 Función de distribución de fallas acumuladas .....	40
1.6.1.2 Función de densidad de probabilidad de fallas .....	40
1.6.1.3 Función de tasa de falla .....	41
1.6.1.4 Tiempo medio entre fallas (MTBF) .....	41
1.6.2 Curva de la bañera .....	41
1.6.3 Distribución de Weibull .....	42
1.6.4 Confiabilidad de activos reparables .....	43
1.6.5 Fallas de funcionamiento .....	44
CAPITULO II .....	45
2. METODOLOGÍA .....	45
2.1 Tipo de estudio .....	45
2.2 Lugar de la investigación .....	45



2.3	Análisis de la calidad de agua para molienda .....	45
2.3.1	Muestreo.....	46
2.3.2	Análisis de los parámetros fisicoquímicos .....	48
2.3.2.1	Sólidos en suspensión.....	49
2.4	Óptimo de defloculante en función de la calidad de agua .....	49
2.4.1	Curvas de defloculación en función de la calidad de agua .....	49
2.4.1.1	Preparación de materias primas cerámicas.....	50
2.4.1.2	Pasta cerámica .....	50
2.4.2	Análisis de la relación entre viscosidad y parámetros fisicoquímicos .....	51
2.4.3	Óptimo de defloculante .....	51
2.5	Análisis del funcionamiento óptimo de la bomba dosificadora de defloculante .....	51
2.5.1	Análisis de confiabilidad.....	52
2.5.1.1	Recolección y filtrado de datos .....	52
2.5.1.2	Diagrama de Nelson Aalen.....	52
2.5.1.3	Índices de confiabilidad.....	52
2.5.2	Eficiencia de la bomba dosificadora de defloculante.....	53
2.5.2.1	Recolección de datos .....	53
2.5.2.2	Medición de campo .....	54
2.5.2.3	Balance de energía mecánica.....	54
CAPITULO III.....		55
3. RESULTADOS .....		55
3.1 Calidad de agua para molienda.....		55
3.2 Óptimo de defloculante en base a la calidad del agua .....		56
3.2.1. Curvas de defloculación en función de la calidad de agua .....		56
3.2.2 Relación viscosidad (Curvas de defloculación) y parámetros fisicoquímicos... 59		
3.2.2.1 Correlación entre la concentración de aluminio y parámetros fisicoquímicos .....		60



3.2.3 Límites de control de parámetros fisicoquímicos .....	60
3.2.4 Óptimo de defloculante .....	63
3.2.4.1 Óptimo de defloculantes para los límites de control .....	64
3.2.4.3 Óptimo de defloculante en función de varias densidades.....	65
3.3 Repetibilidad de parámetros fisicoquímicos en los casos de estudio .....	65
3.3.1 Resumen de la repetibilidad en los casos de estudio.....	68
3.4 Funcionamiento óptimo de la bomba dosificadora.....	69
3.4.1 Resultado del análisis de confiabilidad .....	69
3.4.2 Eficiencia de la bomba dosificadora de defloculante.....	70
4. DISCUSIONES .....	72
4.1 Calidad de agua para molienda.....	72
4.2 Óptimo de defloculante en base a la calidad del agua .....	72
4.3 Repetibilidad de parámetros fisicoquímicos en los casos de estudio .....	74
4.4 Funcionamiento óptimo de la bomba dosificadora.....	74
CAPITULO IV .....	75
5. CONCLUSIONES .....	75
6. RECOMENDACIONES.....	77
7. BIBLIOGRAFÍA .....	78
ANEXOS .....	83
Anexo 1. Registro fotográfico.....	83
Anexo 2. Bitácora de lavado que alimenta la cisterna de agua .....	84
Anexo 3. Registro de parámetros fisicoquímicas.....	87
Anexo 4. Análisis fisicoquímicos .....	90
Anexo 5. Calidad de agua .....	92
Anexo 6. Óptimo de defloculante .....	98
Anexo 7. Confiabilidad de la bomba de impulsión.....	102
Anexo 8. Eficiencia de la bomba dosificadora de defloculante .....	103



Anexo 9. Informes de resultados del laboratorio de saneamiento de ETAPA..... 107

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetro de forma Weibull asociados a la curva de Bañera..... 42

Tabla 2. Frecuencia de lavado de la planta y equipos involucrados en la molturación vía húmeda..... 47

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos y procedimientos de medición..... 48

Tabla 4. Resumen y coeficientes de variación de los parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras de agua de la Piscina. .... 55

Tabla 5. Resumen y coeficientes de variación de los parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras de agua de la Cisterna..... 56

Tabla 6. # de Muestra, Caso de estudio y Fecha de muestreo del agua de Piscina. .... 57

Tabla 7. # de Muestra, Caso de estudio y Fecha de muestreo del agua de Cisterna..... 58

Tabla 8. Resumen del análisis de la regresión lineal múltiple y simple. .... 59

Tabla 9. Coeficiente  $R^2$  de la correlación de la concentración de aluminio y los parámetros fisicoquímicos..... 60

Tabla 10. Valores máximos de los límites de control experimentales para los parámetros fisicoquímicos más influyentes..... 62

Tabla 11. Rangos factibles de control de los límites experimentales de los parámetros fisicoquímicos más influyentes..... 62

Tabla 12. Promedio de los rangos factibles controlables a escala industrial de los límites experimentales de los parámetros fisicoquímicos más influyentes. .... 63

Tabla 13. Función de la relación de porcentajes del agua de cisterna y piscina para el óptimo de defloculante..... 64

Tabla 14. Concentración de aluminio, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua de planta. .... 66

Tabla 15. Concentración de aluminio, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua del atomizador. .... 67

Tabla 16. Concentración de aluminio, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua del molino 1..... 67

Tabla 17. Concentración de aluminio, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua del molino 2..... 68



Tabla 18. Concentración de aluminio, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua de los silos. .... 68

Tabla 19. Clasificación cualitativa de la repetibilidad de parámetros fisicoquímicos en los casos de estudio. .... 69

Tabla 20. Resultado de parámetros del análisis del modelo de Weibull. .... 70

Tabla 21. Pérdidas energéticas del sistema de dosificación de defloculante. .... 71

Tabla 22. Potencias y eficiencia del sistema de dosificación de defloculante..... 71

Tabla 23. Lavado de equipos, fecha, duración, equipo específico y sector dentro del área industrial. .... 84

Tabla 24. Temperatura, pH, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua de la cisterna..... 87

Tabla 25. Temperatura, pH, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua de la piscina..... 89

Tabla 26. Número de muestra y concentración de iones flocculantes presentes en el agua de cisterna. .... 90

Tabla 27. Muestras y concentración de iones flocculantes presentes en el agua de piscina. .... 90

Tabla 28. Media, desviación estándar y coeficiente de variación de los parámetros fisicoquímicos del agua de Cisterna. .... 91

Tabla 29. Media, desviación estándar y coeficiente de variación de los parámetros fisicoquímicos del agua de Piscina. .... 91

Tabla 30. Porcentajes y peso de la mezcla de materias primas y agua para los ensayos de la calidad de agua..... 93

Tabla 31. Porcentaje y humedad de cada materia prima dentro de la mezcla de materias primas de origen mineral para la calidad de agua..... 93

Tabla 32. Composición del defloculante en porcentaje..... 93

Tabla 33. Contenido de defloculante en porcentaje y peso respecto al sólido. .... 93

Tabla 34. Parámetros de densidad y residuo para la pasta cerámica. .... 93

Tabla 35. Densidad y porcentaje de sólidos en muestras de agua de Cisterna y pesos de materia primas para preparar la pasta cerámica..... 94

Tabla 36. Densidad promedio del agua de Piscina y pesos de materia primas para preparar la pasta cerámica..... 94



Tabla 37. Viscosidad de la barbotina en función del contenido de defloculante (% respecto al sólido) para muestras de agua de la cisterna. .... 95

Tabla 38. Viscosidad de la barbotina en función del contenido de defloculante (% respecto al sólido) para muestras de agua de la piscina. .... 95

Tabla 39. Correlación de variables múltiples para iones floculantes y la viscosidad al 0,8 % del contenido de defloculante..... 96

Tabla 40. Concentración aluminio, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua de la cisterna en función de la media superior o inferior de la viscosidad en la carta de control de medias individuales. .... 96

Tabla 41. Tipo de agua y parámetros fisicoquímicos. .... 98

Tabla 42. Tipo de agua y concentración de iones floculantes. .... 98

Tabla 43. Conductividad electrolítica y densidad en función de la relación de porcentajes del agua de cisterna y piscina. .... 98

Tabla 44. Porcentajes y peso de la mezcla de materias primas y agua para los ensayos de defloculación a diferentes densidades..... 99

Tabla 45. Porcentaje y humedad de las materias primas cerámicas para el óptimo de defloculante..... 99

Tabla 46. Contenido de defloculante en porcentaje y peso respecto al sólido. .... 99

Tabla 47. Parámetros de temperatura, densidad y residuo para la pasta cerámica. .... 100

Tabla 48. Densidades de barbotina, porcentaje de sólidos en muestras de agua y pesos de materia primas para la preparación de la pasta cerámica del óptimo de defloculante. . 100

Tabla 49. Viscosidad de la barbotina en función del contenido de defloculante (% respecto al sólido) para el óptimo de defloculante..... 101

Tabla 50. Historial de manteniendo preventivo y correctivo de la bomba de impulsión de defloculante..... 102

Tabla 51. Tiempo, fallas, desconfiabilidad y cálculos para los parámetros de confiabilidad. .... 102

Tabla 52. Características técnicas de la bomba y el defloculante..... 103

Tabla 53. Descripción de componentes de sistema de dosificación de defloculante.... 104

Tabla 54. Características de tuberías del sistema de dosificación de defloculante..... 105

Tabla 55. Perdidas por fricción del sistema de dosificación de defloculante. .... 105

Tabla 56. Perdidas por succión del sistema de dosificación de defloculante. .... 105

Tabla 57. Perdidas por descarga del sistema de dosificación de defloculante..... 106



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Proceso de fabricación de baldosas cerámicas. Fuente: (Elaboración propia).....	22
Ilustración 2. Estructura cristalina del talco. Fuente: (Pascual, 2010).....	23
Ilustración 3. Efecto del contenido en sólidos de una suspensión cerámica sobre la curva de defloculación. Fuente: (Moliner Salvador, R. C., 2017).....	33
Ilustración 4. Efecto de los iones floculantes sobre la curva de defloculación. Fuente: (Moliner Salvador, R. C., 2017). ....	34
Ilustración 5. Esquema de bombas de pistón (izqda.), embolo (centro) y diafragma (dcha.). Fuente: (Menéndez, 2017).....	36
Ilustración 6. Variación del caudal de una bomba dosificadora. Fuente: (Pineda, 2015). ....	37
Ilustración 7. Ejemplo de sistema de bombeo. Fuente: (Harriott, y otros, 2002). ....	38
Ilustración 8. Curva de función de confiabilidad $C(t)$ y función de distribución de fallas acumuladas $F(t)$ . Fuente: (Yañez, y otros, 2004).....	40
Ilustración 9. Función de densidad de probabilidad de fallas. Fuente: (Yañez, y otros, 2004). ....	40
Ilustración 10. Partes de la curva de bañera. Fuente: (Yañez, y otros, 2004).....	42
Ilustración 11. Familia de distribución Weibull. Si $\beta = 1$ se aproxima a la distribución Exponencial, Si $\beta = 2$ distribución Weibull y Si $\beta = 4$ se aproxima a una Distribución Normal. Fuente: (Yañez, y otros, 2004). ....	43
Ilustración 12. Número acumulado de fallas en el tiempo acumulado de operación. Fuente: (Yañez, y otros, 2004).....	43
Ilustración 13. Alimentación de la piscina a través del tratamiento del agua extraída de un río. Fuente: (Elaboración Propia).....	46
Ilustración 14. Alimentación de la cisterna a través del lavado de la planta y equipos involucrados en la fabricación de pavimentos cerámicos sin ningún tratamiento. Fuente: (Elaboración Propia). ....	46
Ilustración 15. Piscina. Fuente: (Industria cerámica).....	47
Ilustración 16. Muestreo de la cisterna de agua. Fuente: (Industria cerámica).....	48
Ilustración 17. Curvas de defloculación de las muestras de agua de la piscina. Fuente: (Elaboración Propia). ....	57



Ilustración 18. Curvas de defloculación de las muestras de agua de la cisterna. Fuente: (Elaboración Propia).....	58
Ilustración 19. Carta de control de medias individuales para viscosidades al 0,8 % del contenido de defloculante. Fuente: (Elaboración Propia).....	61
Ilustración 20. Histograma de la conductividad electrolítica de la cisterna de agua. Fuente: (Elaboración Propia).....	63
Ilustración 21. Histograma de la densidad de la cisterna de agua. Fuente: (Elaboración Propia).....	63
Ilustración 22. Curvas de defloculación para el patrón y los límites de control. Fuente: (Elaboración Propia).....	64
Ilustración 23. Curvas de defloculación para varias densidades en función del límite de control de la conductividad electrolítica. Fuente: (Elaboración Propia).....	65
Ilustración 24. Variación de la conductividad electrolítica del 16 de septiembre al 02 de octubre. Fuente: (Elaboración Propia).....	66
Ilustración 25. Diagrama de Nelson Aalen para el análisis del modelo de Weibull. Fuente: (Elaboración Propia).....	69
Ilustración 26. Función de confiabilidad para el análisis de la bomba dosificadora de defloculante. Fuente: (Elaboración Propia). ....	70
Ilustración 27. Conductímetro. ....	83
Ilustración 28. pHmetro. ....	83
Ilustración 29. Estufa. ....	83
Ilustración 30. Balanza térmica. ....	83
Ilustración 31. Molino rápido de laboratorio. ....	83
Ilustración 32. Copra Ford, boquilla # 4. ....	83
Ilustración 33. Sistema de dosificación de defloculante para un molino continuo.....	104



## Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Diego Fernando Bernal Vásquez en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Análisis y mejora de los parámetros responsables de la eficiencia en el proceso de defloculación en la molturación vía húmeda en una empresa cerámica”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 19 de julio de 2021

Diego Fernando Bernal Vásquez

C.I: 0106854664



### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Daniel Hilario Espinoza Brito en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Análisis y mejora de los parámetros responsables de la eficiencia en el proceso de defloculación en la molturación vía húmeda en una empresa cerámica”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 19 de julio de 2021

Daniel Hilario Espinoza Brito

C.I: 1900526458



## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Diego Fernando Bernal Vásquez, autor/a del trabajo de titulación “Análisis y mejora de los parámetros responsables de la eficiencia en el proceso de defloculación en la molturación vía húmeda en una empresa cerámica”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 19 de julio de 2021

Diego Fernando Bernal Vásquez

C.I: 0106854664



## Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Daniel Hilario Espinoza Brito, autor/a del trabajo de titulación "Análisis y mejora de los parámetros responsables de la eficiencia en el proceso de defloculación en la molturación vía húmeda en una empresa cerámica", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 19 de julio de 2021

Daniel Hilario Espinoza Brito

C.I: 1900526458



## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradecemos a nuestros queridos padres, por guiarnos con sabiduría y por ser el pilar fundamental en cada una de las metas que nos planteamos a lo largo de la vida, así como a nuestros amigos y familiares por su apoyo y motivación día a día. De manera muy especial, queremos agradecer a nuestra directora del trabajo de titulación, Ing. Catalina Peñaherrera y a nuestra asesora Ing. Alexandra Guanuchi, por su confianza, apoyo incondicional, por brindarnos sus conocimientos y consejos, lo que nos ha permitido desarrollar este proyecto con éxito desde el primer momento. De igual manera queremos agradecer a la empresa, a través de su Gerente, el Ing. Xavier Crespo, por abrirnos las puertas de está y brindarnos su confianza. Al Ing. Esteban Alvear y la Ing. Miriam Pesantez por su valiosa orientación y a todos quienes conforman el Laboratorio DTC, por su acogida y ayuda para la elaboración de nuestro trabajo de titulación. A todas/os los docentes que compartieron su conocimiento, esfuerzo, dedicación y paciencia para orientarnos, corregirnos y brindarnos su apoyo y enseñanza de forma permanente para poder culminar esta investigación, a todos ustedes gracias. Finalmente, a mi alma máter Universidad de Cuenca por la oportunidad de ser parte de la comunidad académica y recibir una educación de calidad.



## DEDICATORIA

La finalización de esta etapa se la dedico a mis padres Janeth y Fernando, quienes me han brindado todo su apoyo de manera incansable y han constituido el pilar fundamental para cumplir mis objetivos. A mi hermano Juan por haberme animado en cada momento durante este trayecto y en especial a mis abuelitas Rosa y Carmen que supieron criarme y guiarme por el camino del bien con sus valores y enseñanzas. A todos mis amigos que me ayudaron y motivaron a seguir adelante a lo largo de estos años, sin cada uno de ellos la realización de este trabajo no hubiese sido posible.

Diego Bernal

Desde que nacemos estamos rodeados de personas quienes comparten sus conocimientos y experiencias de generaciones pasadas para formar y moldear una vida, por todo ello, dedico el presente trabajo a la memoria de mi padre Hilario Espinoza, quien consagro parte de su vida a la enseñanza. De la misma forma a mi madre Melania Brito, que por su sacrificio y esfuerzo logró darme una carrera para mi futuro, siendo un gran soporte para mi vida. También a mis hermanas Cristina, Nicole, Raquel, Gabriela y Emily, por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más. Por último, a mis compañeros y amigos quienes sin esperar nada a cambio me compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas a lo largo de toda mi carrera.

Daniel Espinoza



## INTRODUCCIÓN

La industria cerámica, en especial la de revestimientos cerámicos, es uno de los motores económicos tradicionales de Cuenca, Ecuador. Actualmente la producción mensual de revestimientos cerámicos en Cuenca bordea los 2.400.000 m<sup>2</sup>, según cifras de la Cámara de Industrias (Tapia & Carolina, 2019).

Si se busca la vanguardia al producir revestimientos cerámicos es indispensable reevaluar los aspectos tecnológicos y económicos. En Cuenca el proceso predominante para la producción de revestimientos cerámicos es el de preparación de pastas por vía húmeda, el cual emplea operaciones unitarias que utilizan materias primas en suspensión con una alta concentración de sólidos asociada a una excelente fluidez, buscando generar el menor gasto energético. En base a este planteamiento es indispensable la optimización del funcionamiento de la maquinaria y una mejora de calidad dentro del rango factible de las materias primas. Para lograr productos de excelsa calidad se debe llevar un control de los diferentes factores que influyen en la molienda vía húmeda, especialmente la cantidad y calidad de agua, la carga de aditivos y las interacciones electroestáticas entre partículas coloidales (Quereda, y otros, 2016) (Rozo, y otros, 2017).

En el sistema de molienda por vía húmeda existe una entrada de materias primas, agua y defloculante, dando como resultado un producto llamado barbotina, cuyas características varían en torno a los factores mencionados. El desconocimiento específico del rango de influencia de estos factores que están modificando la eficiencia en el proceso de defloculación, implica gastos energéticos no considerados y una disminución de la calidad del producto, dando como resultado gastos económicos. Identificar la influencia de la calidad de agua sobre el defloculante en conjunto con el empleo de la cantidad adecuada para conseguir una buena fluidez de la pasta cerámica, tiene el potencial de proporcionar información sustancial, clave para resolver dicho problema. (Poirier, y otros, 2014)

En este trabajo, se plantea evaluar las características fisicoquímicas del agua, que se emplea en la operación de molienda y el grado en como está afecta a la defloculación, así como, calcular la cantidad de defloculante óptimo en función de la calidad de agua,



utilizando la reología como instrumento. Además, se busca verificar el adecuado funcionamiento de las bombas dosificadoras de defloculante, por lo que se evaluará la eficiencia mecánica y se va a realizar un análisis de confiabilidad.



## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Mejorar el proceso de dosificación del defloculante de una empresa cerámica de producción de revestimientos cerámicos por el método de conformado por prensado de pastas atomizadas.

### **Objetivos específicos**

- Evaluar la calidad de agua usada en la molienda por vía húmeda e inferir su efecto en el proceso de defloculación.
- Evaluar el sistema de dosificación del defloculante (bomba dosificadora) en base a un estudio probabilístico y un balance de energía mecánica.
- Utilizar la reología como instrumento para obtener un rango óptimo de defloculante.

## CAPITULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Proceso de fabricación de las baldosas cerámicas

En la fabricación de pavimentos cerámicos intervienen diversos materiales y aditivos que se transforman a través de una secuencia de operaciones en un producto diversificado (Ilustración 1), con propiedades que van a depender de sus especificaciones y destino final (Sánchez-Molina, 2016).

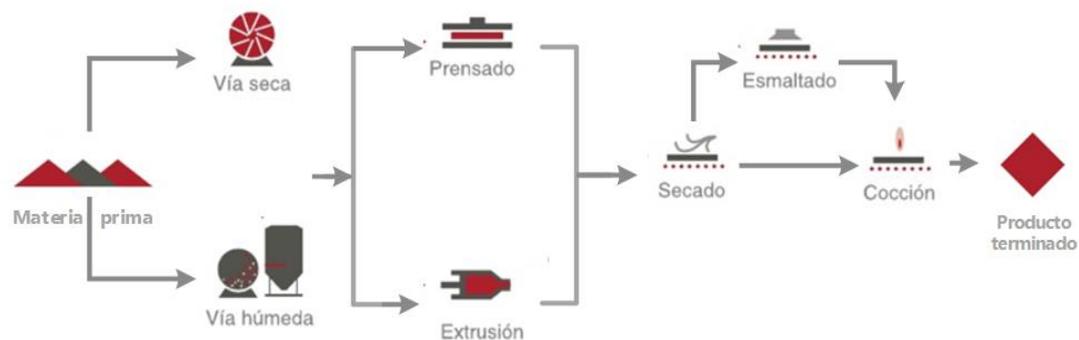


Ilustración 1. Proceso de fabricación de baldosas cerámicas. Fuente: (Elaboración propia).

El proceso general de la elaboración de las baldosas cerámicas (Barba, y otros, 2002) (SACMI, A. E. D. T. C., 2004), se puede describir en los siguientes procesos:

- Elección de materias primas:** Depende netamente del producto que se desea obtener y su disponibilidad.
- Preparación de las pastas:** Se procede a molturar para garantizar una total homogeneidad y conseguir una distribución de tamaños de partícula óptima. Se utiliza molinos pendulares para la molienda por vía seca y molinos de bolas para la molienda por vía húmeda, en este último, es necesario un posterior secado de la suspensión resultante (Atomización).
- Conformado de piezas:** Los procedimientos de conformado más comunes son el presado y la extrusión.
- Secado:** Se reduce el contenido de humedad para que las fases de cocción y esmaltado se desarrollen apropiadamente. Los secadores continuos verticales u horizontales son los más utilizados.
- Esmaltado y decoración:** El esmaltado consiste en la aplicación de una o varias capas de vidriado con un espesor determinado, en tanto, las técnicas mayoritariamente

utilizadas para la decoración de baldosas cerámicas son la serigrafía y la inyección digital.

- f) **Cocción:** En esta etapa se confiere varias de las características al producto como: resistencia mecánica, al fuego y a los agentes químicos, estabilidad dimensional y facilidad de limpieza. Los materiales cerámicos pueden someterse a una, dos o más cocciones y las variables fundamentales dentro de la etapa de cocción son: la atmosfera del horno y el ciclo térmico.

## 1.2 Materias primas cerámicas

Las materias primas cerámicas se pueden clasificar en dos grandes grupos, los materiales grasos o plásticos y los desengrasantes o no plásticos.

### 1.2.1 Materiales plásticos o grasos

Las arcillas son rocas de naturaleza y origen variable, están constituidas por una variedad de minerales que principalmente son sustancias cristalinas denominadas silicatos aluminicos hidratados. Las unidades estructurales de las arcillas son la tetraédrica y octaédrica (Ilustración 2). Las unidades tetraédricas están compuestas por  $\text{Si}^{4+}$  en su centro y  $\text{O}^{2-}$  situado en los vértices del tetraedro, y en menor cantidad por  $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$  que puede sustituir al  $\text{Si}^{4+}$  generando un déficit de carga eléctrica. Las unidades octaédricas están compuestas por  $\text{Si}^{4+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  o  $\text{Fe}^{2+}$  en su centro y  $\text{O}^{2-}$ ,  $\text{OH}^-$  o  $\text{F}^-$  situado en los vértices (Güeto, 2012) (Pascual, 2010).

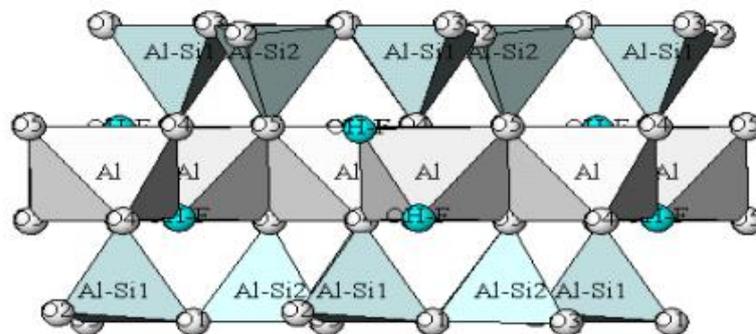


Ilustración 2. Estructura cristalina del talco. Fuente: (Pascual, 2010).

En función de su utilidad en la industria cerámica se puede dividir en tres grandes grupos:



- a) **Caolines o china clays:** Son arcillas en la que su composición se acerca a la caolinita y cuecen de color blanco o crema. El caolín tiene dos propiedades primordiales que permiten su uso en la industria cerámica. La primera es su blancura en cocido, por lo que se utiliza en la cerámica de cocción blanca y la segunda es la refractariedad (Barba, y otros, 2002) (Uribe, y otros, 2020).
- b) **Arcillas de color blanco en la cocción:** Son arcillas que tienen una baja proporción de óxidos de hierro ( $< 3\%$  en peso) y un alto contenido de mineral tipo caolinita. Se utilizan en la industria cerámica en el subsector de pavimentos y revestimientos, debido a su elevada plasticidad, lo que aporta a las piezas un amplio intervalo de cocción y una alta resistencia mecánica en seco (Bustamante-Rúa, y otros, 2015).
- c) **Arcillas de color rojo en la cocción:** Son arcillas illítico-caoliníticas con una proporción alta o media en óxidos de hierro ( $> 3\%$  en peso). Se pueden clasificar en dos tipos principales: Arcillas refractarias y Arcillas fundentes. Su uso en la industria cerámica es en la fabricación de pavimentos y revestimientos de pasta roja, para lo que se emplea una mezcla de arcillas naturales de alto contenido en hierro, de distinta plasticidad y proporción en desengrasantes (Bustamante-Rúa, y otros, 2015).

### 1.2.2 Materiales no plásticos o desengrasantes

Las materias primas no plásticas actúan como desengrasante de la composición, reduciendo su plasticidad y facilitando la defloculación, además, proporcionan una serie de óxidos que aportan diferentes propiedades al producto cocido (Güeto, 2010) (Sánchez, y otros, 2011).

Las materias no plásticas que comúnmente se emplean en la preparación de pastas para la fabricación de pavimentos y revestimiento cerámico pueden dividirse en las siguientes:

- a) **Feldespatos y feldespatoides:** Actúan como desengrasantes mejorando la compacidad y permeabilidad de las piezas conformadas, comienzan a fundir a temperaturas superiores a  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  proporcionando las primeras fases líquidas que surgen durante la cocción, facilitan la fusión y reactividad de la mezcla reduciendo la temperatura de gresificación (Prieto & Edith, 2014) (Serra-Prat, 2016).
- b) **Sílice:** El cuarzo está presente en la mayor parte de las pastas empleadas en cerámica, ya sea como arcillas naturales o materia prima separada, actúa como inerte



fundamentalmente para disminuir la plasticidad de la mezcla, aumentando la refractariedad de la composición, la permeabilidad de la pieza cruda, el coeficiente de dilatación de la pieza cocida y disminuyendo la contracción de cocción (Prieto & Edith, 2014) (Sánchez, y otros, 2011).

- c) **Carbonatos:** Cambian el curso de las reacciones que tiene lugar a altas temperaturas dentro de las mezclas de materiales arcillosas, puede producir fases cristalinas que no se generan en ausencia de ellos y que afectan en gran medida a las propiedades de la pieza cocida, además, la adición de carbonatos alcalinotérreos produce un efecto blanqueante sobre los productos cocidos y disminuye su expansión por humedad (Prieto & Edith, 2014).
- d) **Talcos:** Son empleados para aumentar la fundencia de las composiciones cerámicas en la fabricación de pavimento gresificado de pasta blanca, debido a que permiten la formación de mezclas eutécticas de baja temperatura de fusión entre los feldespatos alcalinos y el talco (Sánchez, y otros, 2011) (Serra, y otros, 2011).

### 1.3 Materias primas auxiliares o transitorias

En la producción de revestimientos cerámicos, intervienen diferentes materias primas auxiliares, se pueden categorizar como materiales vitales para la manufactura del producto final pero que no conforman parte de este, en el caso específico de la molienda vía húmeda interviene los siguientes materiales auxiliares:

#### 1.3.1 Agua

Es un importante recurso en todas las etapas del proceso de fabricación de baldosas cerámicas, tanto como: materia prima, agente de lavado, fluido para intercambio de calor y retención de partículas en sistemas de depuración de efluentes gaseosos. La calidad de agua como materia prima es un factor esencial en la molturación vía húmeda para la preparación de las barbotinas, ya que aporta en gran medida varias de las características reológicas de las barbotinas, y se ha demostrado en base a ensayos que, al utilizar agua desionizada la influencia de iones solubles en términos de viscosidad es menor a los ensayos realizados con aguas potables o industriales. En base a esta aserción para cualificar el agua como “Buena Calidad”, los iones solubles contenidos deben tener una baja influencia en términos de viscosidad, sin embargo la calidad del agua dependerá de diferentes variables, si el polvo atomizado es de coloración roja admitirá un agua de



menor calidad y se podría aprovechar el agua residual de otras etapas, si es de un polvo atomizado de coloración blanca puede admitir menos cantidad de agua residual o una sometida a algún tipo de depuración y en el caso de que el producto sea un polvo atomizado para productos cerámicos sin esmaltar, en varias ocasiones, solo se podrá utilizar agua limpia como materia prima. Además, dentro del sector cerámico si no hay suficiente cantidad de agua residual, lo usual es aportar agua limpia para la correcta elaboración de la suspensión cerámica (Enrique, y otros, 2011) (Moliner Salvador, R. C., 2017) (SACMI, A. E. D. T. C., 2004).

El agua habitualmente utilizada en la molienda de pastas para obtener polvo atomizado de coloración roja es una de la más baja calidad dentro del proceso productivo, debido a que es un conjunto de aguas de lavado y material recuperado de otras secciones. No obstante, el utilizar agua depurada no asegura el obtener buenos efectos desde un punto de vista reológico, producto de las pequeñas cantidades de floculantes (cloruro de aluminio, cloruro férrico, poliacrilamidas), desde este punto es favorable optar por aguas con pH entre 8 y 9, que hace alusión al rango óptimo para la defloculación. (Moliner-Salvador, y otros, 2012). En aguas residuales del sector de fabricación de baldosas cerámicas se puede encontrar:

- a) Sólidos en suspensión: arcillas, restos de fritas y esmaltes, materias primas insolubles en general.
- b) Aniones y cationes en disolución: sulfatos, cloruros,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , etc.
- c) Metales pesados en disolución y/o suspensión.
- d) Materia orgánica: colas, tintas y demás aditivos orgánicos.

La proporción de estos elementos va a depender de los diferentes tipos y composición de los esmaltes, tintas y materiales de decoración aplicados, además de la cantidad de agua utilizada para estas labores de limpieza. En consideración a estas particularidades es necesario mantener un control periódico del agua destinado para la molienda, el cual permita obtener el conocimiento necesario de la calidad de agua utilizada, para realizar las correlaciones entre las variaciones de esta y la degradación de las características reológicas de las barbotinas, con el fin de poder fijar los intervalos admisibles de la calidad del agua que puede emplearse y a su vez las correcciones técnicas posibles a



implementar (Moliner-Salvador, y otros, 2012). Los análisis químicos que permiten realizar un control de la calidad de agua son:

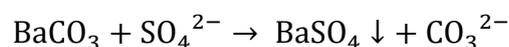
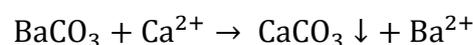
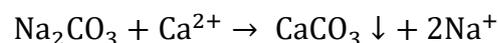
- a) pH
- b) Conductividad electrolítica
- c) Dureza total
- d) Demanda química de oxígeno (DQO)
- e) Cuantificación de iones flocculante más comunes ( $Al^{+3}$ ,  $Fe^{+3}$ ,  $SO_4^{-2}$ , etc.)

### 1.3.2 Defloculante

Los defloculantes son sustancias cuya adición en una suspensión acuosa de polvos coloidales dispersos, provoca un aumento del contenido de sólidos y la fluidez de la suspensión con la disminución de su viscosidad aparente. Son compuestos que impiden la floculación debido a que se adquiere un mayor potencial electrocinético y un relativo aumento de las fuerzas repulsivas que intervienen entre las partículas, es decir, provocan una reorganización de las partículas por cambios electroquímicos (Molina-Macías & Peñuela, 2019).

Los mecanismos que fundamenta la acción de los defloculantes son los siguientes:

- a) Desplazamiento del pH hacia valores básicos, mediante la incorporación de electrolitos básicos que aportan iones  $OH^-$ .
- b) Sustitución de los cationes que componen el lado positivo de la capa difusa con  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Li^+$ ,  $NH_4^+$ .
- c) Aumento de la carga negativa en las partículas arcillosas por adsorción de aniones de valencia elevada, provistos de un fuerte campo magnético.
- d) Incorporación de un coloide protector que evite la floculación al proteger las partículas suspendidas.
- e) Eliminación de flocculantes presentes:
  - Por la formación de complejos de coordinación.
  - Por insolubilización del ion flocculante, por ejemplo:





Los defloculantes se pueden dividir en dos clases (Moliner Salvador, R. C., 2017):

- a) Los inorgánicos no suelen presentar efectos tixotrópicos, son sensibles a la naturaleza y cantidad de iones presentes en la suspensión, y no son eliminados en la fase de secado o cocción, son electrolitos con bases monovalentes, silicatos, carbonatos y fosfatos sódicos. Por ejemplo:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}-n\text{SiO}_2$ ,  $\text{BaCO}_3$ , etc.
- b) Los orgánicos son tixotrópicos, presentan una mayor eficacia con una menor sensibilidad a las interferencias con otros iones y un mayor poder estabilizador, se volatilizan en la cocción y pueden ser electrolitos o no electrolitos en forma de sales sódicas y amónicas. Por ejemplo: Ácidos húmicos y derivados, compuestos de tanino, derivados acrílicos, derivados amónicos, oxalatos, etc.

#### 1.4 Reología en las suspensiones cerámicas

La reología incide básicamente en la preparación de las pastas cerámicas por vía húmeda y la relación óptima agua-sólido, además, es un factor económico para tener en cuenta en la molienda y posterior atomización. El comportamiento reológico de la suspensión tiene una marcada influencia en las diferentes fases del proceso de preparación y sobre las propiedades del polvo atomizado, un excesivo contenido en sólidos conlleva a que la viscosidad aparente de la suspensión sea tan elevada que no pueda realizarse el vaciado de los molinos o el tamizado de la barbotina (Lalau, y otros, 2016) (Mezger, 2020).

##### 1.4.1 Factores que determinan la reología en suspensiones cerámicas

Las barbotinas son suspensiones concentradas de partículas sólidas en el agua y sus propiedades dependen de (Barba, y otros, 2002) (SACMI, A. E. D. T. C., 2004):

- a) **Características físicas del agua:** Viscosidad, tensión superficial, sales solubles, etc.
- b) **Características físicas del sólido:** El tamaño de las partículas determina la intensidad de las fuerzas de interacción de tipo coloidal, entre más pequeño es el tamaño de las partículas mayor es la viscosidad y el comportamiento pseudoplástico de la suspensión.
- c) **Contenido de sólidos de la suspensión y la proporción de cada componente en la mezcla:** En la concentración en sólidos se debe considerar el empaquetamiento máximo de las partículas que lo componen, este parámetro se define como la



concentración volumétrica de sólidos cuando las partículas entren en contacto unas con otras y depende del su propio ordenamiento.

- d) Estado de defloculación de las partículas:** La aglomeración de las partículas en suspensión forma estructuras irregulares de gran tamaño y de baja densidad, que retienen agua en su interior y aumentan la viscosidad, para regular la suspensión se utilizan aditivos electrolitos con el objeto de hacer compatible una gran concentración de sólidos con una buena fluidez.
- e) Temperatura de la suspensión:** La viscosidad de la suspensión es muy sensible a los cambios de temperatura, esta afecta en gran proporción a las fuerzas de origen coloidal.
- f) Envejecimiento:** Genera cambios no reversibles que afectan la estabilidad de la suspensión y su fluidez, debido a que la cantidad defloculante añadido por unidad de superficie disminuye con el tiempo.

#### **1.4.2 Factores que determinan las propiedades entre partículas coloidales**

Los procesos coloidales de conformado parten de un punto en común, una suspensión estable y homogénea, por lo que conocer los factores que determinan las suspensiones cerámicas es fundamental para optimizar los procesos de la elaboración (Lalau, y otros, 2016). Los factores que determina las propiedades de una dispersión coloidal son:

- a) Carga eléctrica en la superficie de las partículas:** Las partículas arcillosas en un medio continuo generan fuerzas de interacción entre partículas, las cuales son originadas por las cargas eléctricas superficiales. Los mecanismos que pueden explicar el origen de estas cargas son: Fracturas de enlaces, sustitución isomorfa y absorciones específicas (Yoval, 2013).
- b) Fuerzas de interacción de Van der Waals:** Son fuerzas atractivas o repulsivas entre moléculas distintas debido a un enlace intermolecular o la interacción electrostática de iones con moléculas neutras. Estas atracciones surgen de dipolos instantáneos en un átomo que inducen a un dipolo en un átomo vecino a dar una fuerza de atracción débil (Kendall & Roberts, 2015).
- c) Fuerzas de interacción electrostáticas:** Las interacciones entre partículas se deben a la aparición de cargas superficiales, cuando se aproximan partículas con cargas del mismo signo se produce una repulsión electrostática entre ellas proporcional al valor



de la carga, que las mantiene separadas evitando la formación de agregados de partículas que desestabilizan el sistema (Mondragón, y otros, 2014).

- d) Fuerzas de interacción hidrodinámicas:** Las interacciones entre las superficies de las partículas al estar en contacto con el líquido van a ser afectadas, en donde, la energía total del sistema se modifica en función de la distancia entre las superficies, originando las fuerzas de hidratación que van a depender del tipo de superficie y del disolvente (Hu, y otros, 2015).
- e) Interacciones estéricas:** La repulsión estérica se debe a la absorción sobre la superficie de partículas de compuestos de elevado volumen que impiden el acercamiento entre partículas, esta repulsión es proporcional al espesor de la capa absorbida, su naturaleza química y concentración de las moléculas adsorbidas (Mondragón, y otros, 2014).

### **1.4.3 Factores que afectan la estabilidad coloidal**

Las interacciones electrostáticas entre las partículas y las interacciones de Van der Waals son los factores que afectan la estabilidad de las suspensiones coloidales, de una forma simultánea y aditiva. Las interacciones electrostáticas producen fuerzas repulsivas y dependen de la fuerza iónica, en tanto las interacciones de Van der Waals producen fuerzas atractivas y son insensibles a la fuerza iónica, por lo que, si la fuerza iónica disminuye el espesor de la doble capa eléctrica y las fuerzas repulsivas se ven afectadas, facilitando la floculación (Lalau, y otros, 2016). Los principales factores que modifican la estabilidad son:

#### **1.4.3.1 pH de la suspensión**

El pH del medio afecta a las interacciones electrostáticas, puesto que modifican la carga eléctrica de la superficie de las partículas en función del punto isoeléctrico. Al disminuir o aumentar el pH respecto a este punto, provoca la adsorción de hidrogeniones o de hidroxilos, adquiriendo las superficies carga positiva o negativa respectivamente. Cuando la superficie está altamente cargada, provocan un dominio de las fuerzas de repulsión electrostática sobre las de atracción, aumentando la barrera energética que impide que las partículas se aglomeren. Por lo tanto, cuando mayor sea la diferencia entre el pH del medio y el pH correspondiente al punto isoeléctrico del sistema, mayor será la estabilidad de éste (Barboni, y otros, 2019).



### 1.4.3.2 Efecto de la adición de hidróxidos y electrolíticos

Cuando una partícula de arcilla está sumergida en un medio acuoso en el que se adiciona un electrolito (hidróxido) los contraiones se distribuyen alrededor de las mismas formando una doble capa, es decir, se dará un intercambio iónico entre ( $H^+$ ) por cualquier catión del hidróxido ( $M^+$ ) y los protones intercambiados se unirán a los  $OH^-$  para dar agua (Mondragón, y otros, 2014).



Si a la suspensión se le añade un exceso de hidróxido, tras completar la reacción de intercambio con  $H^+$ , el exceso de electrolito conllevará a un exceso de  $OH^-$  que no intervendrá en la reacción, transformando el medio acuoso en un medio alcalino por lo que las partículas cargadas negativamente tendrán a repelerse. Así, una suspensión cerámica estará defloculada cuando se le añada la cantidad de hidróxido necesaria para intercambiar los propios contraiones  $H^+$  que forman la doble capa de la partícula, sin embargo, un gran exceso de electrolito originará una gelificación de la suspensión. De igual manera en una solución de electrolitos, no es sólo la concentración de los iones la que determina la desviación de la idealidad de la solución, sino también la influencia de la magnitud de su carga. Los iones monovalentes proporcionan un espesor grande de la doble capa, por lo que favorece a la defloculación mientras que los iones divalentes y trivalentes ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $SO_4^{-2}$ ) disminuyen el espesor de la doble capa, por tanto, flocularía la suspensión (Barboni, y otros, 2019) (Mondragón, y otros, 2014).

### 1.4.3.3 Efecto de la adición de polímeros

Una forma de modificar la estabilidad de una suspensión cerámica es por la adición de un polímero, lo que va a generar tres clases de efectos es la suspensión cerámica:

- a) Las cadenas poliméricas adsorbidas impiden la acción de las fuerzas atractivas de Van der Waals y favorecen la estabilización estérica.
- b) Actúan sobre las fuerzas de repulsión de la doble capa eléctrica.
- c) Modifican el pH.

Si el polímero adicionado es un polielectrolito, la configuración de su cadena dependerá de la fuerza iónica del medio, de este modo un aumento de la fuerza iónica contribuye a



un mejor apantallamiento de la carga eléctrica del polielectrolito, de forma que las interacciones entre las cargas de éste disminuyen, favoreciendo las configuraciones replegadas o enrolladas de la cadena (Mondragón, y otros, 2014).

#### **1.4.4 Defloculación de suspensiones cerámicas**

La tendencia a la defloculación o floculación en una suspensión cerámica dependerá del balance de fuerzas atractivas o repulsivas, la repulsión entre partículas se determinará por la interacción y el espesor que exista entre la doble capa rodea las partículas coloidales, si las fuerzas de repulsión no superan a las de Van der Waals se favorecerá la formación de agregados y por tanto la floculación de la suspensión cerámica, en tanto que si las fuerzas de repulsión son superiores a las fuerzas de atracción de Van der Waals se obtendrá una suspensión coloidal defloculada y estable (Idzkowska, y otros, 2015).

##### **1.4.4.1 Absorción de defloculantes sobre partículas**

Existen diferentes mecanismos para actuar sobre las fuerzas de repulsión electrostática o estérica para la estabilización de las suspensiones cerámicas, dentro del sector cerámico el más utilizado en la actualidad se basa en la introducción de compuestos defloculantes. Dentro de estos compuestos es común que tengan carácter iónico, de este modo pueden modificar la carga en la superficie de la partícula y las fuerzas de repulsión electrostáticas, éstos se adsorben en la superficie de las partículas para proporcionar a la partícula un elevado volumen, de esta forma se produce una fuerte repulsión de tipo estérico (Moliner Salvador, R. C., 2017).

##### **1.4.4.2 Óptimo de defloculante**

A nivel industrial al añadir electrolitos defloculantes en suspensiones cerámicas se busca una gran concentración de sólidos con la mejor fluidez y consistencia, con las condiciones reológicas de máxima estabilidad posible que favorezcan el proceso de la atomización. El objetivo es trabajar en la zona del mínimo de la curva de defloculación (Ilustración 3) para conseguir que el contenido de defloculante sea el más bajo posible ( $desf_{min}$ ) para una determinada viscosidad mínima ( $\mu_{min}$ ) de trabajo (Idzkowska, y otros, 2015).

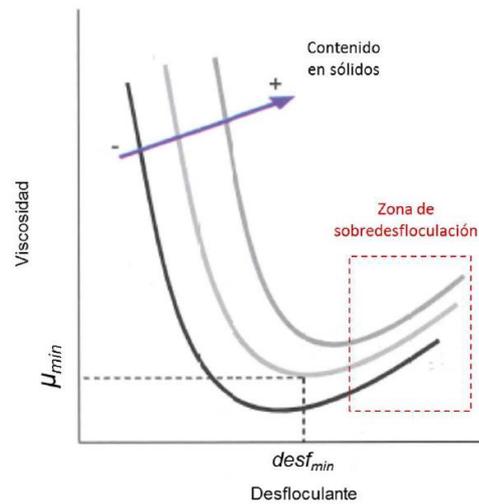


Ilustración 3. Efecto del contenido en sólidos de una suspensión cerámica sobre la curva de defloculación. Fuente: (Moliner Salvador, R. C., 2017).

#### 1.4.4.3 Influencia del agua en la defloculación

En la actualidad cada empresa del sector cerámico que prepara sus materias primas utiliza un defloculante o mezcla de defloculantes determinado, según características de sus materias primas y sus aguas de proceso, las empresas que procesan polvo atomizado de coloración roja suelen utilizar aguas residuales industriales sin un previo tratamiento de depuración como materia prima para la elaboración de suspensiones cerámicas ya que la pasta roja permite el uso de aguas que contengan iones cromóforos (Moliner Salvador, R. C., 2017).

Los iones presentes en el agua empleada en la elaboración de suspensiones cerámicas influirán de forma notable en su reología, los iones divalentes y trivalentes intervienen negativamente en la defloculación de la mezcla ya que actúan como floculantes enérgicos (Ilustración 4). Por tanto, cuanto más presencia estos iones en el agua mayor viscosidad tendrá la suspensión cerámica y será necesario un contenido más alto de defloculante para alcanzar el mínimo en la viscosidad. Debido a su carga los cationes floculantes son adsorbidos por las partículas con mayor fuerza lo que hace que su posterior desplazamiento sea muy complicado. En las series de Hofmeister como regla general los iones multivalentes son los que tienen un comportamiento más floculante:



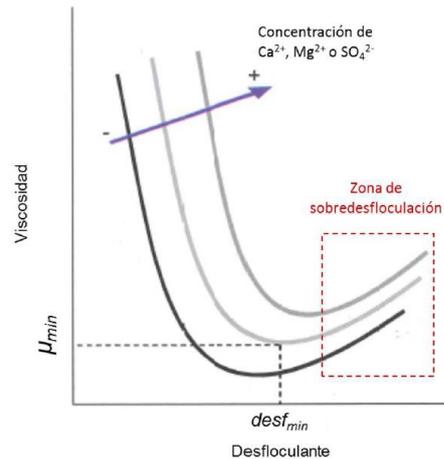


Ilustración 4. Efecto de los iones flocculantes sobre la curva de defloculación. Fuente: (Moliner Salvador, R. C., 2017).

#### 1.4.4.4 Medida de la viscosidad

Existe una amplia variedad de sistemas para medir la viscosidad, los más conocidos son los reómetros o viscosímetros rotacionales que son capaces de realizar un seguimiento del gradiente de velocidad en función del tiempo y los viscosímetros que solo pueden trabajar a unos determinados gradientes de velocidad. Los viscosímetros más utilizados son (SACMI, A. E. D. T. C., 2004):

- Viscosímetros capilares:** Miden el caudal del líquido que fluye por un capilar bajo la acción de un diferencial de presión conocida. Los viscosímetros capilares con capilar corto (Copa Ford), que funcionan con gravedad son los más utilizados en la industria debido a que son fáciles de manejar, baratos y resistentes.
- Viscosímetros de hilo de torsión:** La evaluación del esfuerzo de cizalla mide la amortiguación que sufre la oscilación de un péndulo de torsión.
- Viscosímetros rotacionales:** Están conformados por un sensor y un soporte que contiene la muestra y permiten conocer el comportamiento del material a gradientes de velocidad específicos. Pueden operar manteniendo el esfuerzo de cizalla o manteniendo el gradiente de velocidad.

### 1.5 Sistema de dosificación de defloculante

En la industria cerámica un molino continuo es un sistema con una entrada constante de materias primas, agua y defloculante en rotación permanente, en consecuencia, las características de la barbotina cambian en forma proporcional a la variación de las



propiedades de las materias primas que ingresan al molino. La viscosidad es una de las variables que está relacionada directamente con la calidad de la barbotina, la cual depende, entre otros factores, de la cantidad de defloculante introducido con respecto a las materias primas. Una baja viscosidad puede provocar la sedimentación de la barbotina y una excesiva finura del polvo tras el atomizado, que es un indicador de un exceso de agua en la molienda. Sin embargo, una elevada viscosidad provoca un elevado tiempo de molienda y un tamaño de polvo atomizado grande. Tanto el caudal de agua como el de defloculante se pueden regular actuando sobre las bombas de impulsión, que son reguladas por un variador de frecuencia (De las Heras, 2019) (Sanchis, y otros, 2008).

### **1.5.1 Bombas dosificadoras para defloculantes**

Las bombas dosificadoras utilizadas para la impulsión del defloculante pertenecen a la familia de bombas volumétricas alternativas de volumen controlado, estas bombas tienen un desplazamiento positivo donde el movimiento se transmite desde el motor por medio de manivelas, placas oscilantes o diversos mecanismos hasta uno o más émbolos reciprocantes donde bombean el líquido de trabajo o un aceite hidráulico que acciona un diafragma que produce la acción de bombeo. La bomba de volumen controlado es la única que permitirá la exactitud necesaria, es decir, en condiciones fijas de velocidad, presión y longitud de carrera, entregarán la misma cantidad de líquido en cada carrera. La presión requerida puede ser desde una muy baja, para la inyección de productos químicos, hasta muy altas, de 10000 psi o más, en donde las de émbolo pueden cumplir con los requisitos (De las Heras, 2019) (Menéndez,2017).

#### **1.5.1.1 Bombas volumétricas alternativas**

Las bombas alternativas de uso industrial más extendidas son las bombas de pistón, embolo y diafragma (Ilustración 5). En una bomba de pistón el ciclo de trabajo comienza cuando el desplazamiento del elemento móvil (pistón) crea un volumen a medida que avanza (carrera de aspiración), ocupado por el fluido a impulsar (confinamiento), y que posteriormente es desplazado hacia la salida (carrera de impulsión) a la vez que se colapsa dicho volumen (Menéndez,2017).

Las bombas de pistón son de doble accionamiento, donde el líquido es admitido alternadamente a cada lado del pistón, de modo que una parte del cilindro se está llenando

mientras que la otra se vacía. La presión máxima de descarga para este tipo de bombas es de alrededor de 50 atmósferas. Las bombas de embolo son de simple efecto y trabajan con presiones de descarga de alrededor 1500 atmósferas o más, con cilindros de pared gruesa y diámetro pequeño que contiene un émbolo reciprocante perfectamente ajustado. En cambio, en una bomba de diafragma, el elemento móvil es un diafragma flexible de metal, plástico o hule el cual elimina la necesidad de empaques o cierres expuestos al líquido bombeado. Estas bombas manejan cantidades de líquido de alrededor de 100 gal/min, y pueden desarrollar presiones superiores a 100 atmósferas (Harriott, y otros, 2002) (Menéndez,2017).

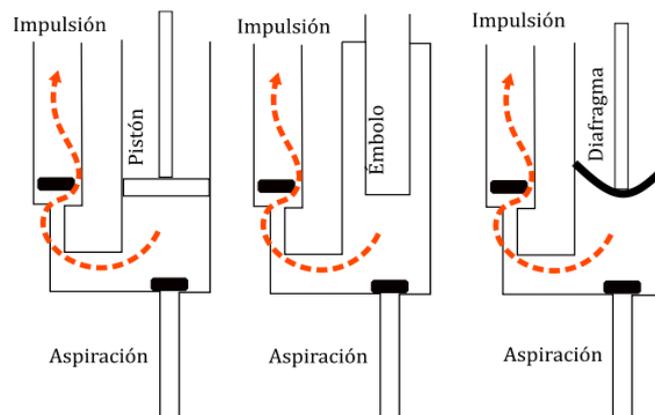


Ilustración 5. Esquema de bombas de pistón (izqda.), embolo (centro) y diafragma (dcha.). Fuente: (Menéndez, 2017).

### 1.5.1.2 Caudal de bombas dosificadoras

Las bombas dosificadoras se caracterizan por tener un caudal discontinuo por pulsaciones, generado por el movimiento alternativo del pistón y por la acción de las válvulas de retención que determinan la direccionalidad del flujo (Ilustración 6). El caudal de la bomba es ajustable, aumenta o disminuye en proporción directa a la variación de la carrera del pistón (Pineda, 2015).



Ilustración 6. Variación del caudal de una bomba dosificadora. Fuente: (Pineda, 2015).

## 1.5.2 Eficiencia de la bomba

Durante el funcionamiento de una bomba, ésta sufre pérdidas naturales (como por ejemplo pérdidas debido a la viscosidad y la turbulencia del fluido) como resultado de los mecanismos hidráulicos que suceden en el interior y exterior de sus componentes, por lo cual es lógico que no se pueda mantener la eficiencia de la bomba nueva (Eficiencia Energética Industrial, 2018). Para entender esto, es importante repasar los conceptos de eficiencia detallados a continuación.

### 1.5.2.1 Eficiencia volumétrica

La eficiencia volumétrica se considera un indicador de desempeño, con el cual se puede llegar a decir si la bomba está realizando su trabajo, esto se debe a que el volumen se puede ver afectado por escapes en los sellos del pistón y en el comportamiento interior de la columna de líquido y las propiedades del vástago. Esta eficiencia depende de tres características básicas de desplazamiento positivo, las cuales son la presión en la bomba, la viscosidad el fluido y la velocidad de rotación de la bomba. La eficiencia volumétrica de una bomba de desplazamiento positivo se define como la relación entre el caudal efectivo y el caudal teórico que entrega la bomba o como el volumen ( $V_c$ ) entregado a la salida de la bomba en el intervalo, sobre el volumen ( $V_d$ ) barrido por los elementos de transporte de dicho intervalo (Rodríguez, 2015).

$$n_v = \frac{\text{caudal efectivo o real}}{\text{caudal teórico en una embolada}} = \frac{Q_f}{Q_T} = \frac{V_c}{V_d} \quad (1)$$

La eficiencia volumétrica se puede calcular directamente a partir de su definición dada, en un recipiente de capacidad conocida, a la vez que se calcula el volumen de barrido por los émbolos mediante la siguiente fórmula (Carraro, y otros, 2017).

$$V_d = N \times S_e \times L_e \quad (2)$$

Donde: N es la cuenta de emboladas

$S_e$  es la superficie del embolo

$L_e$  su carrera

### 1.5.2.2 Eficiencia mecánica

Si se utiliza una bomba en un sistema de flujo para aumentar la energía mecánica de un fluido en movimiento entre los puntos  $a$  y  $b$  de acuerdo con la Ilustración 7, y se plantea un balance de energía mecánica (Ecuación de Bernoulli) que describe las interconversiones de la energía que ocurren en un fluido en movimiento (Eficiencia Energética Industrial, 2018).

$$h_a + \frac{V_a^2}{2g} + \frac{P_a}{\rho} + W_p = h_b + \frac{V_b^2}{2g} + \frac{P_b}{\rho} + h_{f_{a-b}} \quad (3)$$

Donde:  $h_a$ =Carga por altura

$V_a^2/2g$  = Carga de velocidad

$P_a/\rho$  = Carga de presión

$W_p$  = Carga de energía de la bomba

$h_{f_{a-b}}$  = Carga de Pérdidas por fricción

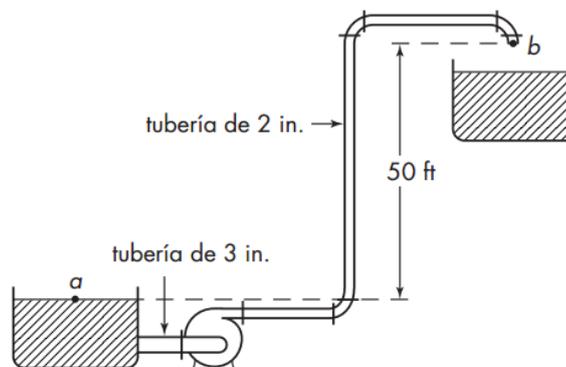


Ilustración 7. Ejemplo de sistema de bombeo. Fuente: (Harriott, y otros, 2002).



Esta ecuación es una expresión final de la ecuación de Bernoulli para el tratamiento de problemas sobre el flujo de fluidos no compresibles. Donde el término  $W_p$  es la carga de energía de la bomba, la cual es considerada para el cálculo de la potencia útil de la bomba, donde normalmente esta magnitud se suele expresar como el producto entre el peso específico del fluido por su caudal (Eficiencia Energética Industrial, 2018).

$$P_u = Q * W_p * \varphi \quad (4)$$

#### 1.5.2.2.1 Eficiencia en términos de potencia requerida

Se define así la eficiencia, como el cociente entre la potencia útil y la potencia teórica. Este valor siempre será menor que la unidad (Carraro, y otros, 2017).

$$\eta = \frac{P_u}{P_t}; \text{ Donde } \eta < 1. \quad (5)$$

### 1.6 Análisis de confiabilidad para equipos

La Ingeniería de Confiabilidad se puede especificar como la rama de la ingeniería que estudia las características físicas y aleatorias del fenómeno “falla”. La cual tiene por objetivo caracterizar probabilísticamente la falla para hacer pronósticos y establecer acciones proactivas dirigidas a evitarla o a mitigar su efecto”. Adicionalmente, proponen el término probabilístico “Confiabilidad” como indicador básico para lograr esta caracterización (Yañez, y otros, 2004).

#### 1.6.1 Función de confiabilidad

La confiabilidad en la ingeniería se puede definir como “La probabilidad de que un equipo desempeñe satisfactoriamente las funciones para las que fue diseñado, durante el período de tiempo especificado y bajo las condiciones de operación dadas” (Acuña, 2003). Por lo tanto, la confiabilidad (C) es definida como la probabilidad de que un equipo funcione por encima de un período de tiempo (t). Donde se define ( $\tau$ ) como la variable aleatoria que representa la vida de un equipo cualquiera. A partir de esto La confiabilidad puede ser expresada como:

$$C(t) = Pr\{\tau \geq t\} \quad \text{Donde } C(0) = 1 \quad (6)$$

### 1.6.1.1 Función de distribución de fallas acumuladas

Es la probabilidad de que un elemento no falle en el instante (t) o antes de (t), como se muestra en la Ilustración 8 (Acuña, 2003).

$$F(t) = 1 - C(t) = Pr\{\tau < t\} \quad (7)$$

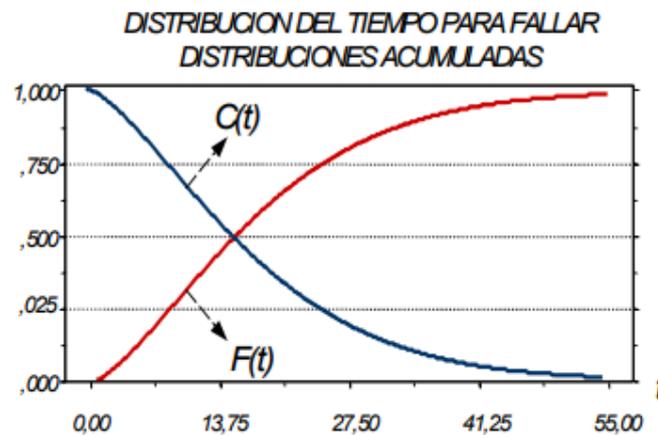


Ilustración 8. Curva de función de confiabilidad  $C(t)$  y función de distribución de fallas acumuladas  $F(t)$ . Fuente: (Yañez, y otros, 2004).

### 1.6.1.2 Función de densidad de probabilidad de fallas

Es la probabilidad de fallo de un elemento por unidad de tiempo (Ilustración 9), en cada instante (t), es decir, el cociente entre la probabilidad de que un elemento falle en el intervalo (t, t+dt) y dt (Tapia & Fernando, 2018).

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dC(t)}{dt} \quad (8)$$

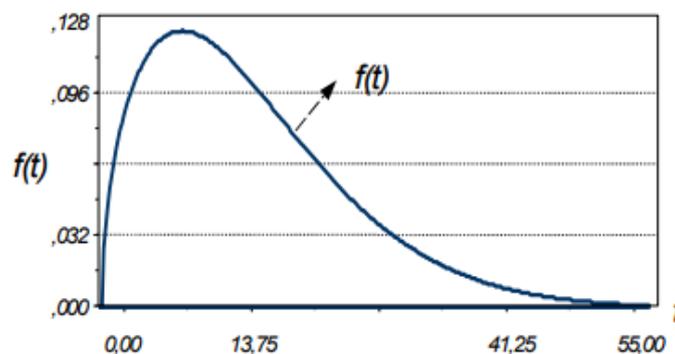


Ilustración 9. Función de densidad de probabilidad de fallas. Fuente: (Yañez, y otros, 2004).



La función de confiabilidad y la función de distribución de fallas acumuladas representan el área bajo la curva definida (Yañez, y otros, 2004). Por lo tanto, como el área bajo la curva es igual a 1, la confiabilidad y la distribución de fallas acumuladas será definida como:

$$0 \leq C(t) \leq 1$$

$$0 \leq F(t) \leq 1$$

### 1.6.1.3 Función de tasa de falla

Ésta nos proporciona una tasa de falla instantánea en un momento (t), la cual está definida por la relación entre la función de densidad de probabilidad de fallas y la función de confiabilidad (Tapia & Fernando, 2018).

$$y(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (9)$$

### 1.6.1.4 Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Es la vida media del elemento y es la esperanza matemática del tiempo de funcionamiento hasta el fallo de un elemento cuya densidad de fallos es  $f(t)$ , es decir, en aquellos casos en que una unidad fallada es reemplazada o se repara de tal forma que su vida esperada sea igual a la de una nueva unidad (Tapia & Fernando, 2018).

$$E(TBF) = MTBF = \int_0^{\infty} C(t)dt \quad (10)$$

### 1.6.2 Curva de la bañera

La curva de bañera (Ilustración 10) representa el probable comportamiento de la tasa de fallas de un tipo de componente o equipo para diferentes instantes de tiempo, y se realiza observando y registrando el comportamiento histórico de fallas de una población de ese tipo (Yañez, y otros, 2004). Típicamente una población de componentes o equipos en general presentan una tasa de falla alta en el primer período de vida que decrece hasta que alcanza un nivel constante por un período de tiempo, (conocido periodo de fallas aleatorias), y finalmente por efecto del envejecimiento característico o desgaste de los componentes, comienza a aumentar nuevamente (desgaste).

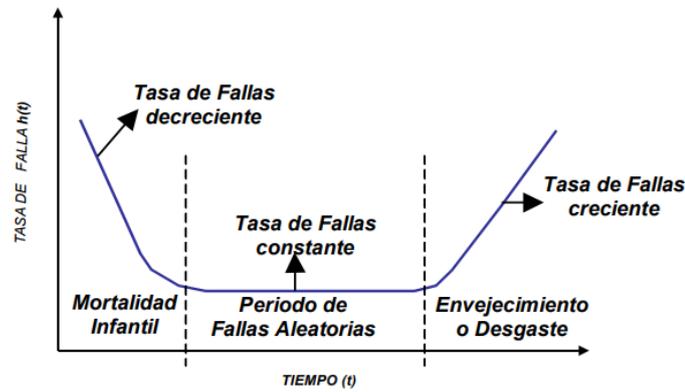


Ilustración 10. Partes de la curva de bañera. Fuente: (Yañez, y otros, 2004).

### 1.6.3 Distribución de Weibull

Es una función de probabilidad que puede utilizarse para representar cualquier tipo de distribución al analizar un equipo o componente (Gasca, y otros, 2017).

$$C(t) = \exp\left[\frac{t - \gamma}{n}\right]^\beta \quad (11)$$

La distribución de Weibull posee, tres parámetros.

1. Parámetro de posición: Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula ( $\gamma$ ), con frecuencia este valor se asume que es cero.
2. Parámetro de característica de vida: Fija la vida útil del producto o del sistema.
3. Parámetro de forma ( $\beta$ ).

Además, dependiendo de los valores  $\beta$  que se definan, puede asumir las propiedades de otras distribuciones, puede ser usada como una aproximación a la Exponencial y a la Normal (Ilustración 11) (Yañez, y otros, 2004). En la siguiente tabla se expresan los períodos de la curva de la bañera, asociados al parámetro de la distribución Weibull.

Tabla 1. Parámetro de forma Weibull asociados a la curva de Bañera.

Valor	Características
$\beta < 1$	Se aproxima a la mortalidad infantil
$\beta \cong 1$	Es el tiempo de vida útil
$\beta > 1$	Desgaste

Fuente: (Yañez, y otros, 2004).

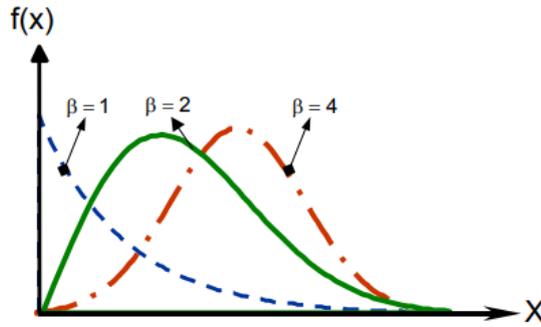


Ilustración 11. Familia de distribución Weibull. Si  $\beta = 1$  se aproxima a la distribución Exponencial, Si  $\beta = 2$  distribución Weibull y Si  $\beta = 4$  se aproxima a una Distribución Normal. Fuente: (Yañez, y otros, 2004).

### 1.6.4 Confiabilidad de activos reparables

“Un sistema reparable es aquel que acepta reparaciones y le pueden ser restauradas sus funciones mediante el uso de cualquier método de reparación diferente al reemplazo del sistema completo” (Yañez, y otros, 2004). En la Ilustración 12 se identifica la variable aleatoria que caracteriza a los equipos reparables conocida como Número Acumulado de Fallas  $N(t[m])$ , para un tiempo acumulado de operación o tiempo misión  $t[m]$ . Para esta gráfica existen dos zonas, una correspondiente a la “Historia” o al pasado; que comprende 4 fallas acumuladas, que han ocurrido en forma sucesiva y con intervalos  $t_1, t_2, t_3$  y  $t_4$ . Estos valores son conocidos y se usarán para hacer predicciones del número de fallas para tiempos mayores a  $t[4]=t_1+t_2+t_3+t_4$ . La otra zona es la llamada corresponde a la “Predicción” y el objetivo es saber cuántas fallas más pueden ocurrir desde  $t[4]$  hasta  $t[m]=t[4]+t_m$ .

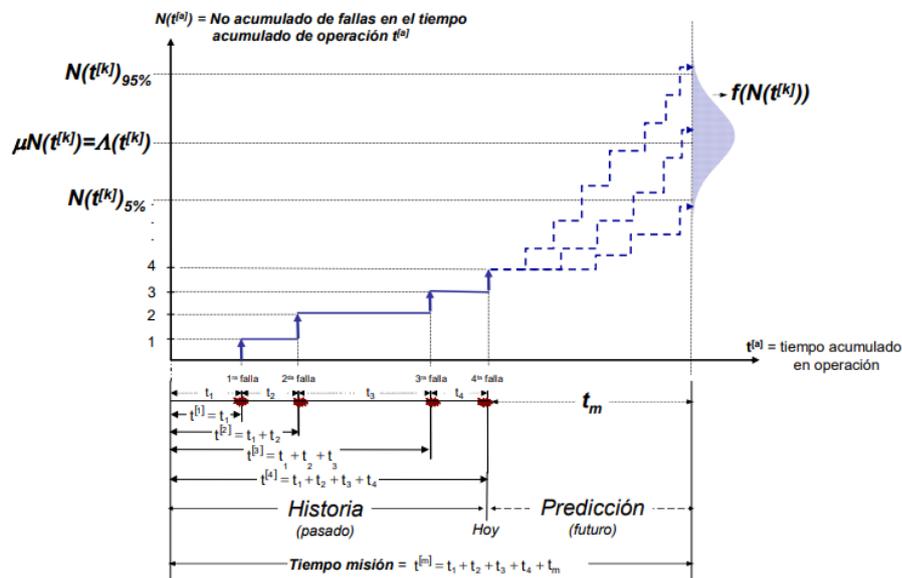


Ilustración 12. Número acumulado de fallas en el tiempo acumulado de operación. Fuente: (Yañez, y otros, 2004).



La predicción del número acumulado de fallas para cada valor del tiempo de operación dará como resultado una distribución de probabilidades. La media o valor esperado de esta distribución se conoce como Número Esperado de Fallas y se denota como  $\Delta(t[m])$  (Yañez, y otros, 2004).

### **1.6.5 Fallas de funcionamiento**

Los fallos más frecuentes en las bombas dosificadoras y las posibles causas que lo provocan con referencia al caudal suministrado son (De las Heras, 2019):

- La bomba no suministra un caudal suficiente o normal debido a la suciedad existente en el circuito que bloquea los conductos de aspiración o impulsión.
- El caudal de la bomba es inferior al deseado debido a la viscosidad del producto a dosificar es inadecuada a las posibilidades de la bomba.
- Rotura parcial o encogimiento/desgaste de la membrana del conjunto dosificador que da lugar a una alteración del caudal de la bomba dosificadora y el paso del aditivo químico a la zona del conjunto mecánico donde se mezcla con el aceite de lubricar.
- Recalentamiento del motor o caudal de la bomba anormal debido a errores de operación en la puesta en marcha de los equipos.
- Disminución del caudal bombeado o desgaste rápido de los elementos del conjunto dosificador de la bomba, debido a que el producto químico bombeado es demasiado corrosivo para los materiales de los que se componen las piezas en contacto.
- La bomba suministra un caudal por debajo de lo normal o sufre un ruido mecánico inusual debido al desgaste de los rodamientos, la empaquetadura o el aflojamiento de los tornillos de sujeción del acoplamiento motor/bomba.



## CAPITULO II

### 2. METODOLOGÍA

#### 2.1 Tipo de estudio

El presente trabajo de titulación corresponde a una investigación de tipo experimental con alcance exploratorio y explicativo, dividida en tres fases que abarcan un estudio de los parámetros fisicoquímicos del agua utilizada en la molienda vía húmeda de una empresa cerámica, la relación de los estos parámetros fisicoquímicos con el óptimo del defloculante y la eficiencia de las bombas dosificadoras del mismo, con el fin de mejorar el proceso de dosificación del defloculante.

#### 2.2 Lugar de la investigación

La fase experimental se realizó en el Laboratorio del Departamento Técnico Cerámico de una empresa de producción de revestimientos cerámicos por el método de conformado por prensado de pastas atomizadas, los análisis fisicoquímicos de pH, conductividad y densidad serán cuantificados a la hora de realizar la toma de cada muestra antes de ser enviadas al laboratorio de saneamiento de ETAPA, acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano SAE bajo la norma INEN ISO/IEC 17025.

#### 2.3 Análisis de la calidad de agua para molienda

En la empresa cerámica para la fabricación de pavimento gresificado, en donde se desarrolla el estudio, se utiliza un proceso de molturación vía húmeda, empleando un molino continuo que permite pesar y formular las pastas de una forma constante y autónoma, lo que asegura una mayor repetibilidad en las características de la pasta cerámica. Dentro del proceso de molturación vía húmeda se utiliza como materia prima una combinación de aguas de diferentes fuentes, la primera procede de la extracción y tratamiento del agua proveniente de un río (Ilustración 13), que se almacena en diferentes piscinas según las necesidades de la empresa y la segunda proviene de la recolección del agua que se emplea para la limpieza en la planta y los equipos involucrados en la fabricación de revestimientos cerámicos como: atomizadores, silos y molinos (Ilustración 14), la cual se emplea sin ningún tratamiento y es almacenada en una cisterna con agitación continua por el alto contenido de sólidos en suspensión. Además en la empresa cerámica para conservar el contenido de sólidos netos de la barbotina, se cuantifica la densidad del agua y se ajusta el tonelaje de la mezcla de materias primas de origen mineral

que ingresa al molino, en caso de que la densidad del agua supere cierto límite y la cantidad de sólidos aportado por ésta sea excesivo a lo regulado se procede a realizar una mezcla entre el agua proveniente de la cisterna y la extraída del río, para disminuir la cantidad de sólidos hasta alcanzar los límites operativos necesarios.

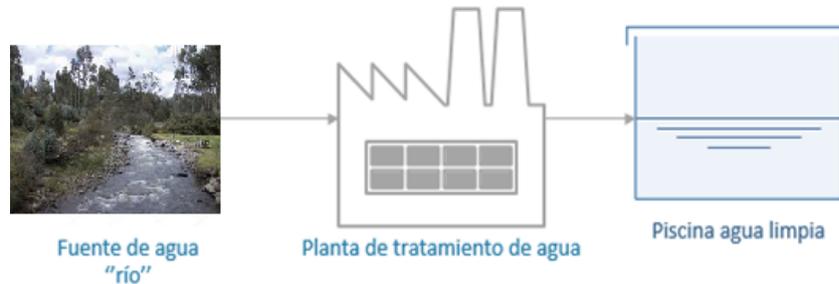


Ilustración 13. Alimentación de la piscina a través del tratamiento del agua extraída de un río. Fuente: (Elaboración Propia).

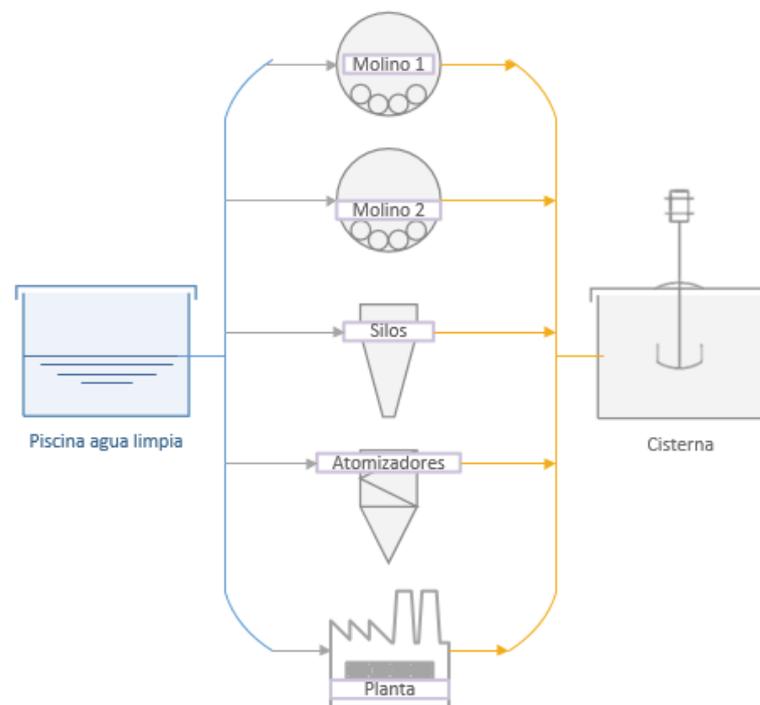


Ilustración 14. Alimentación de la cisterna a través del lavado de la planta y equipos involucrados en la fabricación de pavimentos cerámicos sin ningún tratamiento. Fuente: (Elaboración Propia).

### 2.3.1 Muestreo

El análisis de la calidad de agua va a iniciar con la selección de los sitios de muestreo más representativos de la empresa, en donde se va a realizar la recolección de datos mediante la técnica de muestreo descrita en la NTE INEN 2176:2013, y los procedimientos detallados en la NTE INEN 2169:1998 para el manejo y conservación de las muestras.

Las muestras representativas necesarias para los análisis fisicoquímicos se van a determinar en base a la frecuencia estimada de lavados que se realiza en la planta y los equipos involucrados en la molturación vía húmeda (Tabla 2), además de tomar en consideraron el programa de producción de la empresa cerámica.

Tabla 2. Frecuencia de lavado de la planta y equipos involucrados en la molturación vía húmeda.

Casos	Frecuencia de lavado
Planta	3 veces al día
Atomizador	Cada 5 días
Molino 1	Cada 7 días
Silos	Cada 30 días
Molino 2	Cambio de tecnología

Fuente: (Elaboración Propia).

### A. Piscina

La toma de muestras se va a realizar en un punto diferente de la alimentación de la piscina (Ilustración 15), preferentemente en donde se sospeche una lenta renovación o cualquier posible causa de deterioro del agua, mediante el siguiente procedimiento:

- Realizar el muestreo por debajo del agua a 20 cm.
- El recipiente se va a llenar 3 veces y se descarta las 2 primeras.
- Tomar 1 litro de muestra para los análisis fisicoquímicos y sellarlo antes de sacarlo del agua.

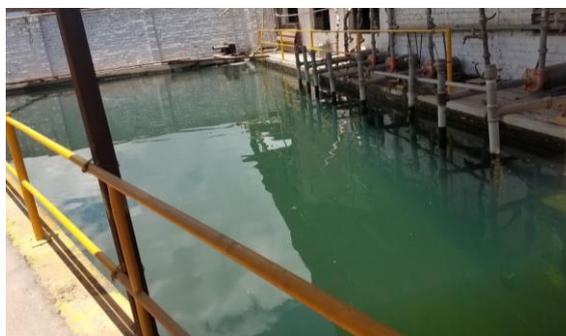


Ilustración 15. Piscina. Fuente: (Industria cerámica).

### B. Cisterna

La toma de muestras se realizará después de los lavados programados a los equipos involucrados en la fabricación de revestimientos cerámicos y para la muestra de la planta

se la realizará en momentos oportunos según el programa de producción (Ilustración 16), mediante el siguiente procedimiento:

- a) El muestreo se lo va a realizar en la cisterna mediante un cable y un envase que se va a sumergir en forma contraria al flujo.
- b) El recipiente se va a llenar 3 veces y se descarta las 2 primeras.
- c) Se debe tomar 1 litro de muestra para los análisis fisicoquímicos.



Ilustración 16. Muestreo de la cisterna de agua. Fuente: (Industria cerámica).

### 2.3.2 Análisis de los parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos establecidos para determinar la calidad del agua se describen en la Tabla 3 y son los que afectan principalmente a la defloculación. Los iones flocculantes como: dureza total, cálcica, sulfatos y aluminio serán analizados en el laboratorio de saneamiento de ETAPA, en tanto los parámetros fisicoquímicos que pueden fluctuar con el transcurso del tiempo serán medidos en el momento de tomar cada muestra de agua.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos y procedimientos de medición.

Parámetros fisicoquímicos	Procedimiento de medición
Dureza Total	Método SM 3500 CaB
Dureza Cálcica	Método SM 2340 C
Concentración de sulfatos	Método SM 4500 SO4 E
Concentración de aluminio	Método SM/3120/ICP
pH	NTE INEN-ISO 10523
Conductividad Electrolítica	NMX-AA-093-SCFI-2000
Densidad	NTE INEN 1009

Fuente: (Laboratorio de agua potable ETAPA, 2013).



### 2.3.2.1 Sólidos en suspensión

En la preparación de la pasta cerámica se va a utilizar el agua analizada en el laboratorio de saneamiento de ETAPA, para lo cual es necesario determinar la cantidad de sólidos en suspensión que aporta el agua de cada una de las muestras, mediante el siguiente procedimiento:

- Lavar un vaso de precipitación y secarlo en una mufla a 105 °C, luego pesar una vez que se enfríe y repetir este procedimiento hasta obtener un peso constante.
- Medir 10 ml de la muestra de agua designada con una pipeta serológica y colocar en un vaso de precipitación.
- Colocar el vaso de precipitación en baño maría hasta que la muestra se evapore por completo.
- Trasladar el vaso con la muestra a una mufla a una temperatura de 105 °C por 40 min.
- Pesar el vaso con la muestra seca y fría para determinar el porcentaje de sólidos de la muestra mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Sólidos} = \frac{P_{V+MS} - P_V}{V_M} \quad (12)$$

Donde:  $P_{V+MS}$  = Peso del vaso de precipitación más la muestra seca

$P_V$  = Peso del vaso de precipitación seco

$V_M$  = Volumen de la muestra.

## 2.4 Óptimo de defloculante en función de la calidad de agua

En la empresa cerámica se emplea como defloculante una combinación de acrilato de sodio y silicato de sodio en porcentajes en peso respecto al sólido comprendidos entre 0,6 a 1 % para trabajar en la zona del mínimo de la curva de defloculación y conseguir que el contenido de defloculante sea el más bajo posible, sin embargo, el proceso de defloculación se ve afectado por la calidad del agua, por lo que es necesario conocer como se comporta el defloculante utilizado en la empresa con las diferentes calidades de agua, a fin de tener información para hallar el óptimo del mismo.

### 2.4.1 Curvas de defloculación en función de la calidad de agua

La cantidad de sólidos en suspensión aportados por el agua se controlan mediante la densidad, sin embargo, los sólidos disueltos como carbonatos, sulfatos y aluminio, que



son los principales iones floculantes que afectan el rendimiento del defloculante no tienen una medida de control específica dentro del proceso productivo de la empresa cerámica. El primer análisis necesario para cuantificar el grado de influencia de los iones floculantes en base a los casos que varían la calidad de agua, es determinar cómo se ve afectada la viscosidad de la pasta cerámica con cada una de las muestras de agua caracterizadas por los análisis fisicoquímicos realizados en la sección 2.3, con este propósito se va a realizar moliendas a escala de laboratorio para obtener curvas de defloculación.

#### **2.4.1.1 Preparación de materias primas cerámicas**

Las materias primas para la preparación de la pasta cerámica en esta empresa vienen premezcladas en tres componentes denominadas A, B y C, que van a conformar la mezcla de materias primas de origen mineral necesarias para preparar la pasta cerámica. Para los ensayos de laboratorio es necesario reducir el tamaño de las partículas de estos materiales para facilitar su molienda, mediante el siguiente procedimiento:

- a) Muestrear la cantidad necesaria de cada materia prima.
- b) Secar en una mufla a una temperatura de 110 °C por alrededor de 8 horas.
- c) Realizar reducciones de tamaño en una trituradora de mandíbulas y en un molino de martillos sucesivamente hasta alcanzar el tamaño deseado.
- d) Cuantificar la humedad de cada materia prima mediante una termobalanza.
- e) Almacenar las materias primas en un lugar seco y con baja humedad.

#### **2.4.1.2 Pasta cerámica**

La composición de una pasta cerámica o barbotina se guía por una fórmula específica que va a permitir mezclar las diferentes materias primas cerámicas y auxiliares que nos van a asegurar la constancia de las características de ésta. En los ensayos de defloculación se va a calcular la cantidad de agua necesaria para la formación de la pasta cerámica en función de una base de cálculo para la mezcla de materias primas secas según la capacidad de las jarras de molienda, mediante el siguiente procedimiento:

- a) Pesar la cantidad necesaria de cada materia prima y agua necesaria para la molienda en base a las fórmulas descritas en el Anexo 5.
- b) Pesar y añadir la cantidad de defloculante según el porcentaje en peso respecto al sólido a utilizar. Para este estudio se va a utilizar los siguientes porcentajes: 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 y 0,9 % en base a los datos históricos de la empresa cerámica.



- c) Colocar los elementos moledores dentro del molino de laboratorio conjunto con la mezcla de materias primas, agua y defloculante.
- d) Realizar la molienda y medir la viscosidad en la Copa Ford Boquilla # 4.
- e) Medir el residuo en un tamiz ASTM N° 230.
- f) Medir la densidad de la barbotina.
- g) Realizar una gráfica que compare la cantidad de defloculante agregado versus su viscosidad en segundos.

#### **2.4.2 Análisis de la relación entre viscosidad y parámetros fisicoquímicos**

La identificación de los parámetros fisicoquímicos que rigen el comportamiento reológico de la barbotina es vital para la toma de acciones de control del proceso. El análisis de la relación entre viscosidad y parámetros fisicoquímicos se va a efectuar mediante el siguiente procedimiento:

- a) Realizar un análisis de las curvas de defloculación de la pasta cerámica e identificar un porcentaje de defloculante en peso respecto al sólido para determinar las viscosidades mínimas de cada curva.
- b) Analizar la relación entre la viscosidad mínima y los parámetros fisicoquímicos.

#### **2.4.3 Óptimo de defloculante**

Determinar el óptimo de defloculante en base a los parámetros que guarden una mayor relación entre los parámetros fisicoquímicos del agua analizados y el comportamiento de la viscosidad de la pasta cerámica. El procedimiento y fórmulas por utilizar van a ser las descritas en el punto 2.4.1.

#### **2.5 Análisis del funcionamiento óptimo de la bomba dosificadora de defloculante**

En el proceso de molienda por vía humedad para la fabricación de pavimento gresificado se utiliza una bomba de impulsión para la dosificación del defloculante, en donde se mezcla en conjunto con las materias primas y el agua. En consecuencia, las características de la barbotina cambian en forma proporcional a la variación de las propiedades de las materias primas y del defloculante que ingresan al molino.



### **2.5.1 Análisis de confiabilidad**

El estudio se centrará en la bomba de impulsión para la dosificación del defloculante que se utiliza en la molienda por vía húmeda.

#### **2.5.1.1 Recolección y filtrado de datos**

Los datos requeridos son:

- Fecha: El momento en que ocurrió el mantenimiento o la falla.
- Instalación: La edad o el tiempo que ha trabajado el motor desde su primera instalación en años.
- Descripción: Se refiere a la identificación del problema o falla a tratar al equipo.
- Prioridad: Nivel de problema que presenta el equipo calificado como normal o urgente.
- Tipo de mantenimiento: Clasificación del tipo de mantenimiento. Manteniendo preventivo o correctivo.

#### **2.5.1.2 Diagrama de Nelson Aalen**

Establecer el diagrama de Nelson Aalen para determinar la distribución espacial y la tendencia de los datos en función del tiempo, mediante el siguiente procedimiento:

- a) Realizar el diagrama de Nelson Aalen.
- b) Representar el número acumulado de fallas realizados a la bomba dosificadora en función del tiempo.
- c) Analizar la distribución espacial y la tendencia de los datos en función del tiempo.

#### **2.5.1.3 Índices de confiabilidad**

Calcular los índices básicos de confiabilidad utilizando el modelo probabilístico de Proceso Ordinario de Restauración (POR), asumiendo que los tiempos entre fallas sucesivas siguen una distribución Weibull y que el equipo es restaurado a su condición original, mediante el siguiente procedimiento:

- a) Calcular los parámetros de forma  $\beta$  y el parámetro de escala  $\alpha$  mediante la aplicación del método de mínimos cuadrados, donde la transformación doble logarítmica de la función de probabilidad de falla permite establecer una ecuación lineal de la forma:



$$y = \ln \left[ \ln \left( \frac{1}{1 - F(t)} \right) \right]; x = \ln(t); b = \beta \ln \alpha \quad (13)$$

Donde: El parámetro de forma  $\beta$  es la pendiente de la recta de regresión y el parámetro escala  $\alpha$  está en función del intercepto  $b$  de la recta de regresión.

- b) Calcular los índices de confiabilidad siguiendo una distribución de Weibull con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Probabilidad de falla} \quad F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (14)$$

$$\text{Confiabilidad} \quad R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (15)$$

- c) Realizar una representación gráfica de los índices de confiabilidad en función del tiempo acumulado de fallas.

### 2.5.2 Eficiencia de la bomba dosificadora de defloculante

Realizar un análisis de los componentes de la instalación de la bomba para determinar su eficiencia.

#### 2.5.2.1 Recolección de datos

Los datos requeridos son los siguientes:

- a) **Cuerpo:** Datos referentes al cuerpo de la bomba.
- Marca: Marca o fabricante del motor.
  - Tipo de bomba: sumergible, turbina vertical, horizontal, centrífuga, etc.
  - Modelo: El modelo de bomba de acuerdo con el fabricante.
- b) **Datos de diseño:** Se refiere a las características hidráulicas de diseño del equipo de bombeo.
- Caudal máximo
  - Potencia útil y teórica
  - Eficiencia
- c) **Características del fluido:** Se refiere a las características principales del fluido a bombear.
- Peso específico
  - Densidad
  - Viscosidad cinemática y dinámica



### **2.5.2.2 Medición de campo**

Una vez obtenidos los datos básicos ejecutar una medición de parámetros hidráulicos de la instalación en los sistemas de bombeo, mediante el siguiente procedimiento:

- a) Definir un nivel de referencia para las mediciones.
- b) Identificar los elementos que conforman el sistema de bombeo.
- c) Medir la longitud y los diámetros de tubería y accesorios.

### **2.5.2.3 Balance de energía mecánica**

Determinar las pérdidas energéticas y plantear el balance de energía mecánico, para calcular la eficiencia del sistema de bombeo, mediante el siguiente procedimiento:

- a) Determinar las pérdidas de succión y descarga en la bomba mediante la ecuación (3) de Bernoulli.
- b) Realizar el balance de energía mecánica para la zona de aspiración e impulsión.
- c) Obtener la eficiencia del sistema del balance de energía mecánico a partir de la ecuación (5).

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Calidad de agua para molienda

##### A. Piscina

En la Tabla 4 se muestra los valores mínimos y máximos de los resultados de las pruebas para determinar la calidad de agua de la piscina, se incluyen los coeficientes de variación que indican una homogeneidad moderada de los datos, además, se presentaron conductividades bajas alcanzando un máximo de  $170 \mu\Omega$ , lo que nos sugiere bajos contenidos de sólidos totales disueltos (TDS), acorde con la escasa concentración de iones flocculantes presentes en este tipo de agua. En el Anexo 3 y 4 se detallan los parámetros fisicoquímicos de las 6 muestras de agua analizadas.

Tabla 4. Resumen y coeficientes de variación de los parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras de agua de la Piscina.

Parámetros fisicoquímicos	Unidades	Min	Max	Coefficiente de variación
pH		7,2	7,6	3,5%
Conductividad	$\mu\Omega$	110	170	20,5%
Densidad	$g/cm^3$	0,9979	0,9987	0,0%
Dureza Total	mg $CaCO_3/l$	52	72	11,9%
Dureza Cálcica	mg $CaCO_3/l$	34	44,8	9,4%
Dureza Magnésica	mg $CaCO_3/l$	10	32	32,5%
Concentración Sulfatos	mg/l	6,7	20,3	49,6%
Concentración Aluminio	mg/l	0,33836	0,59037	23,5%

Fuente: (Elaboración Propia).

##### B. Cisterna

En la Tabla 5 se aprecia la variabilidad que presenta el agua de cisterna, en donde la mayoría de los coeficientes de variación están por encima del 50%, es decir, los datos tienen una gran heterogeneidad. La densidad que presenta estas aguas es elevada, alcanzado un máximo de  $1,1690 g/cm^3$ , lo que refleja altos valores de sólidos totales (ST). Además, el rango de la conductividad electrolítica nos indica que el agua de cisterna analizada posee una alta concentración TDS, lo que podemos corroborar con la alta



cantidad de iones flocculantes. En el Anexo 3 y 4 se detallan los parámetros fisicoquímicos para cada caso de estudio (silos, molinos, planta y atomizadores) de las 17 muestras de agua analizadas.

Tabla 5. Resumen y coeficientes de variación de los parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras de agua de la Cisterna.

Parámetros fisicoquímicos	Unidades	Min	Max	Coefficiente de variación
pH		7,9	9,4	13,7%
Conductividad	$\mu\Omega$	230	830	30,7%
Densidad	$g/cm^3$	1,0134	1,169	123,7%
Dureza Total	mg $CaCO_3/l$	918	30600	59,3%
Dureza Cálcica	mg $CaCO_3/l$	0	11000	109,1%
Dureza Magnésica	mg $CaCO_3/l$	918	30000	67,3%
Concentración Sulfatos	mg/l	12,4	1454,5	99,8%
Concentración Aluminio	mg/l	0,22286	2082,025	67,9%

Fuente: (Elaboración Propia).

### 3.2 Óptimo de defloculante en base a la calidad del agua

#### 3.2.1. Curvas de defloculación en función de la calidad de agua

Las curvas de defloculación se realizaron en base a una pasta estándar, las condiciones de los ensayos de defloculación y de la molienda de la pasta cerámica se describen en el Anexo 5.

##### A. Piscina

La Ilustración 17 representa las curvas de defloculación realizadas con las diferentes muestras de agua de la piscina (Tabla 6), donde se observa que al 0,6 % de contenido de defloculante se tiene una leve declinación de la viscosidad, considerándose como el inicio de la viscosidad mínima dentro de la curva de defloculación. Además, se observa que para las muestras de agua de la piscina no existe una gran variabilidad entre ellas, acorde a los resultados de los parámetros fisicoquímicos detallados en la Tabla 4.

Tabla 6. # de Muestra, Caso de estudio y Fecha de muestreo del agua de Piscina.

Muestra #	Caso Estudio	Fecha Muestreo
P1	Piscina	01/09/20
P2	Piscina	22/09/20
P3	Piscina	01/10/20
P4	Piscina	14/10/20
P5	Piscina	21/10/20
P6	Piscina	28/10/20

Fuente: (Elaboración Propia).

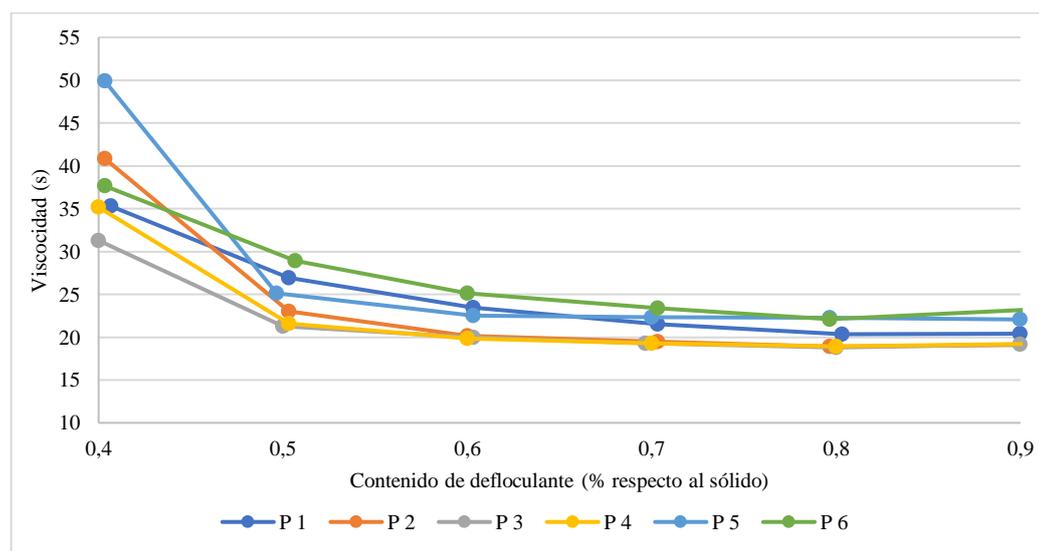


Ilustración 17. Curvas de defloculación de las muestras de agua de la piscina. Fuente: (Elaboración Propia).

## B. Cisterna

En la Ilustración 18 se visualiza las curvas de defloculación realizadas en las pastas cerámicas en las que se utilizó las diferentes muestras de agua de la cisterna (Tabla 7) correspondientes a los casos de estudio (planta, silos, molinos y atomizadores), donde se aprecia viscosidades elevadas, lo que nos sugiere altos contenidos TDS. La viscosidad a partir de 0,8 % de contenido de defloculante tiene una leve declinación considerándose como el inicio de la viscosidad mínima, a excepción de las curvas de las muestras C14 y C17 que corresponden a los casos de estudio de planta y silos respectivamente, en los que se observa una gran cantidad de sólidos totales (Anexo 3) y altas concentración de aluminio (Anexo 4).



Tabla 7. # de Muestra, Caso de estudio y Fecha de muestreo del agua de Cisterna.

Muestra #	Caso Estudio	Fecha Muestreo
C1	Planta	21/08/20
C2	Molino 1	21/08/20
C3	Atomizador 1 y 2	22/08/20
C4	Silos	25/08/20
C5	Molino 2	31/08/20
C6	Silos	07/09/20
C7	Molino 1	16/09/20
C8	Molino 2	18/09/20
C9	Atomizador 1	21/09/20
C10	Planta	24/09/20
C11	Atomizador 1	28/09/20
C12	Molino 2 – Atomizador	30/09/20
C13	Molino 1	02/10/20
C14	Planta	14/10/20
C15	Planta	21/10/20
C16	Planta	28/10/20
C17	Silos	31/10/20

Fuente: (Elaboración Propia).

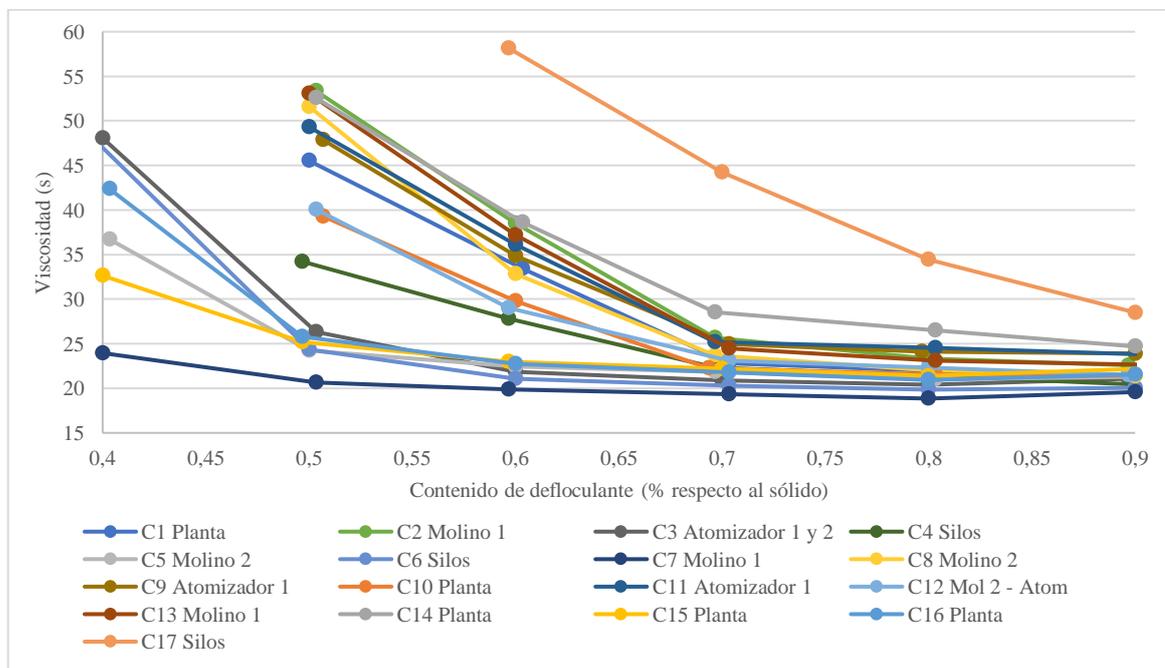


Ilustración 18. Curvas de defloculación de las muestras de agua de la cisterna. Fuente: (Elaboración Propia).



### 3.2.2 Relación viscosidad (Curvas de defloculación) y parámetros fisicoquímicos

Al realizar un análisis de las curvas de defloculación de la pasta cerámica que varían en torno a la calidad de agua de la Cisterna, se identificó un porcentaje de defloculante en peso respecto al sólido que permita comparar el comportamiento reológico de la barbotina con los parámetros fisicoquímicos obtenidos del análisis de las muestras de agua. Por lo que al considerar la zona de los mínimos de las curvas de defloculación se estableció que el 0,8 % del contenido de defloculante, es el porcentaje más bajo posible en la mayoría de las curvas de defloculación.

La Tabla 8 muestra el análisis de la regresión lineal múltiple, donde la ecuación 16 describe el modelo de predicción del comportamiento de la viscosidad al 0,8 % del contenido de defloculante en torno a la concentración de iones floclulantes, en donde se observa solo una significancia parcial en la variable  $X_4$ , por lo que se realizó una regresión lineal simple y se obtuvo la ecuación 17 con un coeficiente  $R^2$  de 0,63, que representa un modelo significativo del comportamiento de la viscosidad al 0,8 % del contenido de defloculante en función de la concentración de aluminio presente en el agua empleada como materia prima en la molturación vía húmeda de la empresa cerámica.

Donde:  $Y$  = Viscosidad al 0,8% de defloculante

$X_1$  = Dureza Cálcica

$X_2$  = Dureza Magnésica

$X_3$  = Concentración de Sulfato

$X_4$  = Concentración de aluminio

Tabla 8. Resumen del análisis de la regresión lineal múltiple y simple.

	<b>Regresión lineal múltiple</b>	<b>Regresión lineal simple</b>
<b>Ecuación</b>	$Y = 20,45 - 8,7E^{-5}X_1 - 4,74E^{-5}X_2 - 2,81E^{-3}X_3 + 5,48E^{-3}X_4$ (16)	$Y = 18,68 + 5,44E^{-3}X_4$ (17)
<b>R</b>	0,85	0,79
<b>R<sup>2</sup></b>	0,73	0,63
<b>Error típico</b>	2,14	2,24
<b>Significancia Global</b>	Sí es significativo: Valor $p = 2,15E^{-3} < 0,05$	Sí es significativo: Valor $p = 1,51E^{-4} < 0,05$



<b>Significancia Parcial</b>	X <sub>1</sub> : No significativo. Valor p = 0,63	Sí es significativo: Valor p = 1,51E <sup>-4</sup> <0,05
	X <sub>2</sub> : No significativo. Valor p = 0,49	
	X <sub>3</sub> : No significativo. Valor p = 0,14	
	X <sub>4</sub> : Si es significativo. Valor p = 3,7E <sup>-4</sup>	
<b>Multicolinealidad</b>	X <sub>1</sub> - X <sub>2</sub> : 0,05 No hay	----
	X <sub>1</sub> - X <sub>3</sub> : 0,36 No hay	
	X <sub>1</sub> - X <sub>4</sub> : -0,01 No hay	
	X <sub>2</sub> - X <sub>3</sub> : -0,04 No hay	
	X <sub>2</sub> - X <sub>4</sub> : -0,35 No hay	
	X <sub>3</sub> - X <sub>4</sub> : 0,18 No hay	

Fuente: (Elaboración Propia).

### 3.2.2.1 Correlación entre la concentración de aluminio y parámetros fisicoquímicos

Para realizar el análisis de la cantidad de iones floculantes presentes en el agua se requiere una metodología y equipos especializados con los que no cuenta la empresa cerámica, por lo que, se busca una forma indirecta de fácil medición que permita realizar un monitoreo constante de los mismos, para ello se busco una relación lineal de la concentración de aluminio y los parámetros fisicoquímicos (Tabla 9), en donde se establece a la conductividad electrolítica como la variable que tiene una mayor relación, sin embargo, se va a incluir el parámetro fisicoquímico de la densidad ya que es la principal variable de control para la molturación vía húmeda en la empresa cerámica.

Tabla 9. Coeficiente R<sup>2</sup> de la correlación de la concentración de aluminio y los parámetros fisicoquímicos

<b>Parámetros Fisicoquímicos</b>	<b>Concentración Aluminio (R<sup>2</sup>)</b>
Conductividad Electrolítica	0,40
Densidad	0,25

Fuente: (Elaboración Propia).

### 3.2.3 Límites de control de parámetros fisicoquímicos

De acuerdo con los resultados obtenidos, si se pretende llevar a cabo acciones de control primero se debe definir límites experimentales de los parámetros de mayor influencia

sobre la viscosidad de la barbotina. Con este propósito se realizó un análisis del comportamiento de la barbotina y los parámetros fisicoquímicos característicos de cada muestra de agua, para lo cual se empleó una carta de control de medias individuales para las viscosidades al 0,8 % del contenido de defloculante y una deducción del rango factible de control de los límites experimentales.

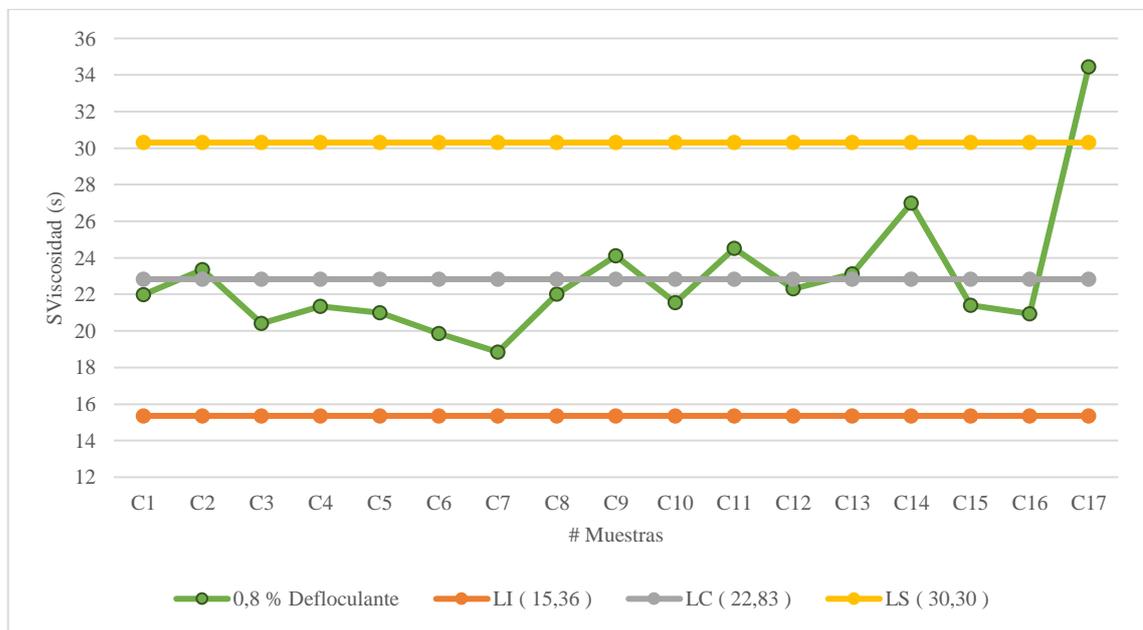


Ilustración 19. Carta de control de medias individuales para viscosidades al 0,8 % del contenido de defloculante.

Fuente: (Elaboración Propia).

La Ilustración 19 muestra el comportamiento de la barbotina dentro de la carta de control de medias individuales, en donde la viscosidad al 0,8 % del contenido de defloculante presenta un comportamiento fuera de control debido: a una conducta errática y la viscosidad de la muestra de agua C17 se encuentra fuera del límite superior, atribuible a la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos del agua que afectan su comportamiento.

Al analizar las curvas de defloculación correspondientes a las viscosidades ubicadas en la media inferior de la carta de control se observa que los efectos de los parámetros fisicoquímicos del agua sobre la viscosidad se aminoran a partir del 0,7 % del contenido del defloculante respecto al sólido y la viscosidad muestra un comportamiento más estable a partir de este porcentaje. Por lo que es deducible que los límites experimentales de control (Tabla 10) se deben establecer en valores cercanos o inferiores al de los



parámetros fisicoquímicos más altos de las muestras de agua empleadas en la preparación de estas pastas cerámicas.

Tabla 10. Valores máximos de los límites de control experimentales para los parámetros fisicoquímicos más influyentes.

<b>Parámetros fisicoquímicos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Límites Experimentales Máximos</b>
Concentración Aluminio	mg/l	$\leq 1077,45$
Conductividad electrolítica	$\mu\Omega$	$\leq 575$
Densidad	$g/cm^3$	$\leq 1,1330$

Fuente: (Elaboración Propia).

Al definir los valores máximos que pueden alcanzar los parámetros fisicoquímicos del agua (concentración de aluminio, conductividad electrolítica y densidad), se estableció un rango factible de control mediante la relación que existe entre el comportamiento de la viscosidad de la barbotina dentro de la carta de control de medias individuales y los parámetros fisicoquímicos correspondientes a cada muestra de agua. Para definir este rango (Tabla 11) se tomaron los valores de los límites experimentales de la Tabla 10 y los valores más bajos de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua al representar las curvas de defloculación correspondientes a las viscosidades ubicadas en la media superior (Anexo 5). Con esto se espera alcanzar una viscosidad cercana al límite central al trabajar dentro del rango factible de control de los siguientes límites experimentales.

Tabla 11. Rangos factibles de control de los límites experimentales de los parámetros fisicoquímicos más influyentes.

<b>Parámetros fisicoquímicos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Límites Mínimo</b>	<b>Límite Máximo</b>
Concentración Aluminio	mg/l	723,47	1077,45
Conductividad electrolítica	$\mu\Omega$	540	575
Densidad	$g/cm^3$	1,0794	1,1330

Fuente: (Elaboración Propia).

En la Ilustración 20 y 21 se puede apreciar que el promedio de los límites de control (Tabla 12), abarcan el 80 y 70 % de la frecuencia acumulada de la conductividad electrolítica y densidad respectivamente, de las muestras registradas durante el estudio (Anexo 3).

Tabla 12. Promedio de los rangos factibles controlables a escala industrial de los límites experimentales de los parámetros fisicoquímicos más influyentes.

Parámetros fisicoquímicos	Unidades	Promedio
Conductividad electrolítica	$\mu\Omega$	550
Densidad	$g/cm^3$	1,10

Fuente: (Elaboración Propia).

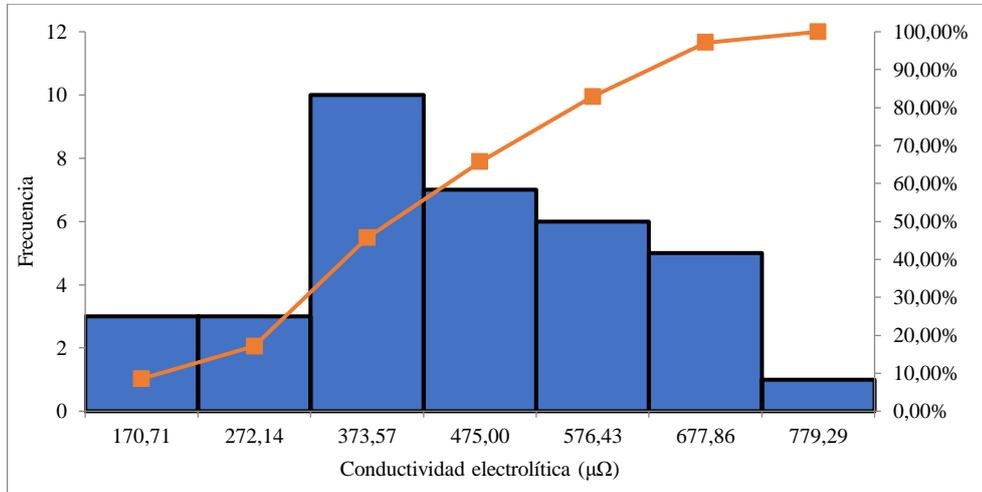


Ilustración 20. Histograma de la conductividad electrolítica de la cisterna de agua. Fuente: (Elaboración Propia).

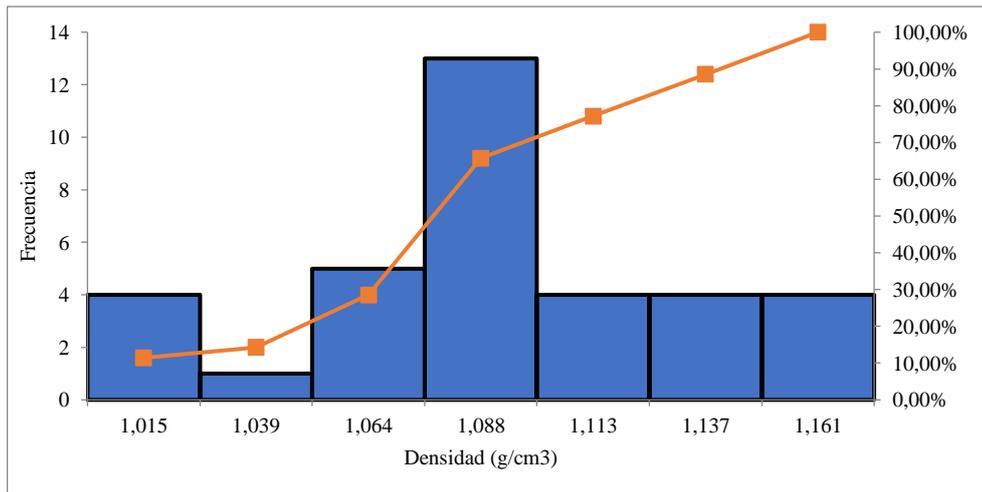


Ilustración 21. Histograma de la densidad de la cisterna de agua. Fuente: (Elaboración Propia).

### 3.2.4 Óptimo de defloculante

Se determinó el óptimo de defloculante en base a una muestra de agua de cisterna con características que influyan de manera negativa en la viscosidad de la barbotina y una muestra de agua de piscina representativa de las condiciones habituales, además, para los ensayos de defloculación se empleó únicamente los límites de control experimentales de

la conductividad electrolítica y la densidad. Las condiciones de los ensayos de defloculación y de la molienda de la pasta cerámica se describen en el Anexo 6.

### 3.2.4.1 Óptimo de defloculantes para los límites de control

La Tabla 13 representa los 3 escenarios propuestos de los ensayos de defloculación para determinar el óptimo de defloculante. El primero se denominó “Patrón” al agua de la cisterna sin ninguna modificación de sus propiedades fisicoquímicas originales, el segundo denominado “Conductividad”, el cual tiene una mezcla de agua de la cisterna y piscina en una relación 71,43 - 28,57 % y el último denominado “Densidad” a la mezcla de agua de la cisterna y piscina en una relación 64,52 - 35,48 % (Anexo 6).

Tabla 13. Función de la relación de porcentajes del agua de cisterna y piscina para el óptimo de defloculante.

Ensayo de Defloculación	Porcentaje		Conductividad electrolítica ( $\mu\Omega$ )	Densidad ( $g/cm^3$ )
	Cisterna	Piscina		
Patrón	100,00	0,00	630	1,1565
Conductividad	71,43	28,57	550	1,1102
Densidad	64,52	35,48	520	1,1012

Fuente: (Elaboración Propia).

En la Ilustración 22 el óptimo de defloculante para las curvas Patrón, Conductividad y Densidad se establece en 0,9; 0,8 y 0,8 % respectivamente de defloculante respecto al sólido de la pasta cerámica.

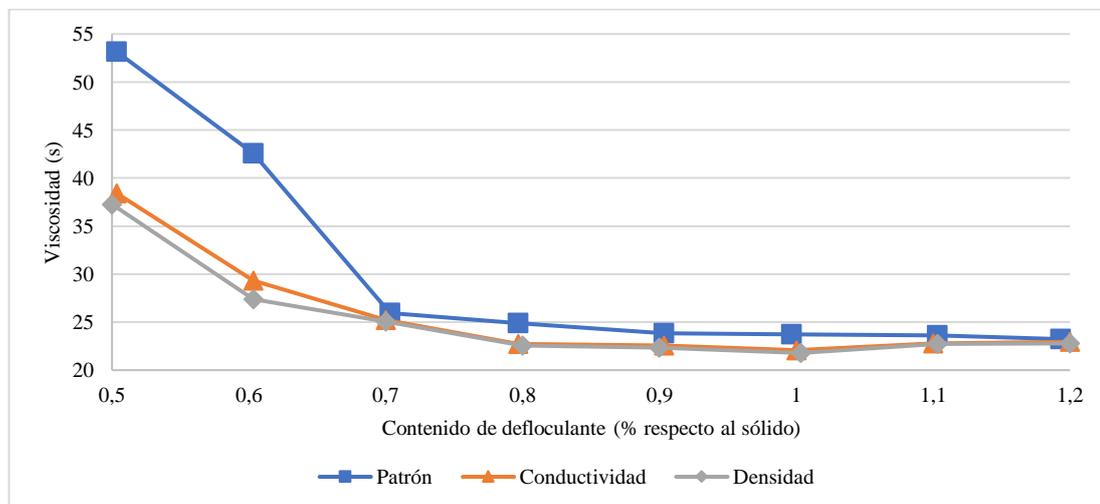


Ilustración 22. Curvas de defloculación para el patrón y los límites de control. Fuente: (Elaboración Propia).

### 3.2.4.3 Óptimo de defloculante en función de varias densidades

En consideración de los resultados obtenidos del óptimo de defloculante para los límites de control se establecieron curvas de defloculación para varias densidades de barbotina, utilizando como límite de control la conductividad electrolítica ( $550 \mu\Omega$ ). En la Ilustración 23 se muestra los óptimos de defloculante de 0,8; 0,9; 1 y 1,1 % del contenido de defloculante en porcentaje respecto al sólido, para las curvas de defloculación a densidades de barbotina de 1,64; 1,65; 1,66 y 1,67 respectivamente.

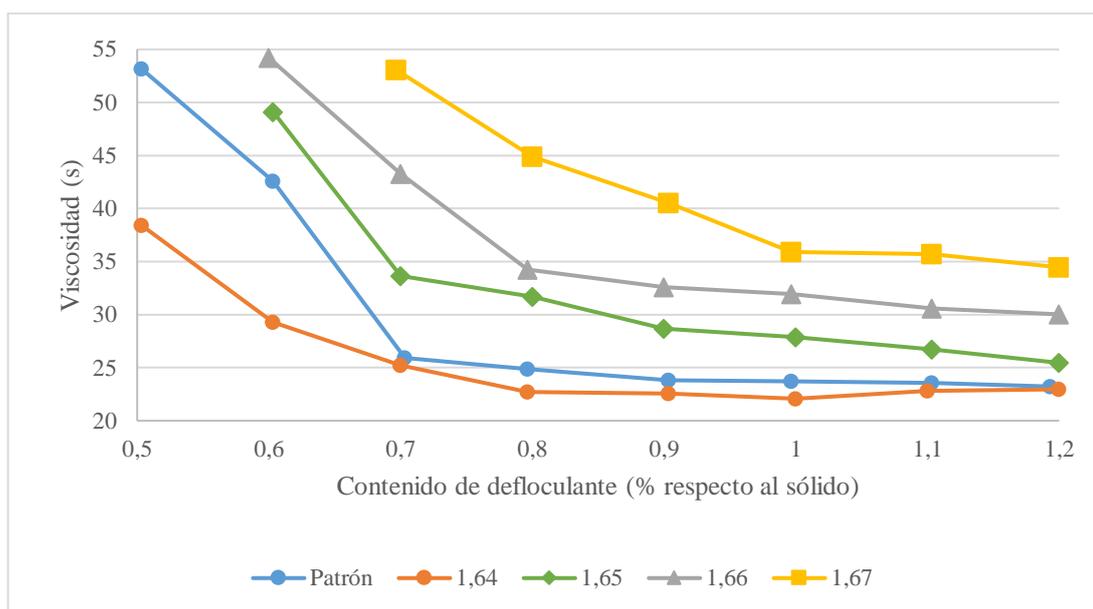


Ilustración 23. Curvas de defloculación para varias densidades en función del límite de control de la conductividad electrolítica. Fuente: (Elaboración Propia).

### 3.3 Repetibilidad de parámetros fisicoquímicos en los casos de estudio

La variación de la calidad del agua de la Cisterna se debe a la procedencia y frecuencia de los lavados, la Ilustración 24 representa la variación de la conductividad electrolítica en un lapso determinado (Anexo 3), donde se puede apreciar que al momento de realizar un lavado en los equipos (atomizadores, silos y molinos) la conductividad electrolítica incrementa de forma considerable. Además, con cada lavado, el aporte de sólidos totales y sus efectos se siguen sumando a lo largo del tiempo.

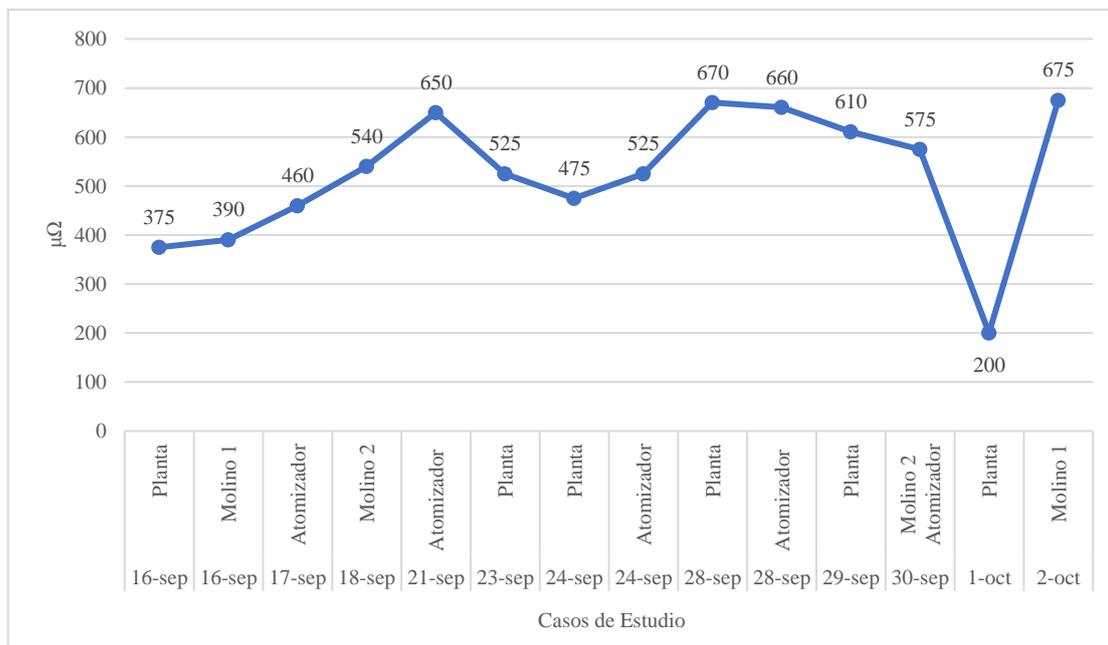


Ilustración 24. Variación de la conductividad electrolítica del 16 de septiembre al 02 de octubre. Fuente: (Elaboración Propia).

En las siguientes tablas se muestra la repetibilidad que presenta el agua de cisterna en cada caso de estudio en base a la concentración de aluminio, conductividad electrolítica y densidad.

**a) Planta**

En Tabla 14 se muestra la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos que presentan las muestras de agua producto del lavado de la planta, considerando la concentración de aluminio y densidad, de las muestras de agua C10 y C15 respectivamente presentan valores atípicos a los esperados.

Tabla 14. Concentración de aluminio, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua de planta.

Caso Estudio	Muestra #	Conductividad electrolítica (µΩ)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Concentración Aluminio (mg/l)
Planta	C14	540	1,1402	1276,88
Planta	C1	525	1,1110	498,30
Planta	C10	475	1,0605	5,30
Planta	C15	350	1,0987	465,08
Planta	C16	230	1,0134	164,23

Fuente: (Elaboración Propia).

**b) Atomizador**

En Tabla 15 se muestra la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua producto del lavado de los atomizadores, en donde las muestras de agua C11 y C9 evidencian una buena repetibilidad, en cambio la muestra 3 presenta valores más bajos a sus homólogos atribuible a que la muestra es una mezcla del lavado de dos atomizadores.

Tabla 15. Concentración de aluminio, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua del atomizador.

Caso Estudio	Muestra #	Conductividad electrolítica ( $\mu\Omega$ )	Densidad ( $g/cm^3$ )	Concentración Aluminio (mg/l)
Atomizador 1	C11	660	1,0794	1046,760
Atomizador 1	C9	650	1,0987	899,690
Atomizador 1 y 2	C3	350	1,0640	464,090

Fuente: (Elaboración Propia).

**c) Molino 1**

En Tabla 16 se muestra la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua producto del lavado del molino 1, en donde las muestras de agua C13 y C2 evidencian una buena repetibilidad, en cambio la muestra C7 presenta valores más bajos a sus homólogos atribuible a una baja densidad y concentración de aluminio.

Tabla 16. Concentración de aluminio, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua del molino 1.

Caso Estudio	Muestra #	Conductividad electrolítica ( $\mu\Omega$ )	Densidad ( $g/cm^3$ )	Concentración Aluminio (mg/l)
Molino 1	C13	675	1,1506	723,470
Molino 1	C2	670	1,1690	999,460
Molino 1	C7	390	1,1070	0,223

Fuente: (Elaboración Propia).

**d) Molino 2**

En Tabla 17 se muestra la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua producto del lavado del molino 2, considerando que la concentración de aluminio



y conductividad electrolítica presenta valores atípicos a los esperados. Además, la muestra C12 es un conjunto de lavado del molino 2 y un atomizador.

Tabla 17. Concentración de aluminio, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua del molino 2.

<b>Caso</b>	<b>Muestra</b>	<b>Conductividad</b>	<b>Densidad</b>	<b>Concentración</b>
<b>Estudio</b>	<b>#</b>	<b>electrolítica (<math>\mu\Omega</math>)</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Aluminio (mg/l)</b>
Molino 2 - Atomizador	C12	575	1,0818	402,380
Molino 2	C8	540	1,0837	1018,710
Molino 2	C5	400	1,0391	1077,450

Fuente: (Elaboración Propia).

### e) Silos

En Tabla 18 se muestra la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua producto del lavado de los silos, en donde las muestras de agua no poseen ninguna repetibilidad.

Tabla 18. Concentración de aluminio, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua de los silos.

<b>Caso</b>	<b>Muestra</b>	<b>Conductividad</b>	<b>Densidad</b>	<b>Concentración</b>
<b>Estudio</b>	<b>#</b>	<b>electrolítica (<math>\mu\Omega</math>)</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Aluminio (mg/l)</b>
Silos	C17	830	1,1506	2082,025
Silos	C4	450	1,0930	828,740
Silos	C6	350	1,1330	1009,800

Fuente: (Elaboración Propia).

### 3.3.1 Resumen de la repetibilidad en los casos de estudio

En Tabla 19 se resume la repetibilidad de los parámetros fisicoquímicos del agua en los casos de estudio clasificados de forma cualitativa (Alta, Media y Baja) en base a la proximidad de los parámetros fisicoquímicos, donde se muestra una baja repetibilidad para las muestras de agua de lavado de la planta, molino 2 y silos, en tanto para el atomizador y molino 1 se encuentra una repetibilidad media.

Tabla 19. Clasificación cualitativa de la repetibilidad de parámetros fisicoquímicos en los casos de estudio.

Casos de Estudio	Repetibilidad		
	Baja	Media	Alta
Planta	X		
Atomizador		X	
Molino 1		X	
Molino 2	X		
Silos	X		

Fuente: (Elaboración Propia).

### 3.4 Funcionamiento óptimo de la bomba dosificadora

En este apartado se presentan los datos obtenidos del análisis de confiabilidad y el cálculo de la eficiencia de una bomba dosificadora de defloculante, que trabaja de manera ininterrumpida suministrando un caudal constante de sustancias altamente viscosas a un molino continuo.

#### 3.4.1 Resultado del análisis de confiabilidad

En la Ilustración 25, se muestra el diagrama de Nelson Aalen que personifica el análisis de los datos de falla de la bomba de impulsión de defloculante con respecto al tiempo. Adicionalmente se muestran el valor del coeficiente de correlación  $R^2$  (0,9048), que representan el ajuste de la recta de regresión indicando una relación lineal entre los datos.

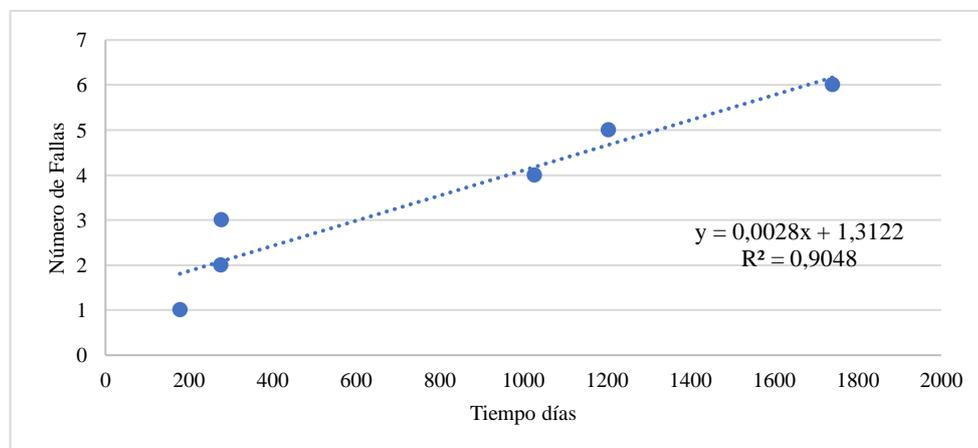


Ilustración 25. Diagrama de Nelson Aalen para el análisis del modelo de Weibull. Fuente: (Elaboración Propia).

En la Tabla 20 se presentan los resultados para el análisis de confiabilidad de la bomba de impulsión de defloculante. En esta tabla se muestra la distribución de Weibull como la elegida, con un tiempo medio entre fallas (MTBF) igual a 884,95 días.

Tabla 20. Resultado de parámetros del análisis del modelo de Weibull.

Parámetro	Resultado
Distribución	Weibull
Cantidad de datos	6
Parámetro $\beta$ de Weibull	1,04
Parámetro $\alpha$ de Weibull	898,75
MTBF	884,95 días

Fuente: (Elaboración Propia).

En la Ilustración 26 se visualiza el índice de confiabilidad  $R(t)$  que se calculó en función de los parámetros  $\beta$  y  $\alpha$ , en donde se puede observar que la confiabilidad de la bomba de impulsión de defloculante a 1740 días (4,76 años) de operación (Anexo 7) es del 18 % con una probabilidad al fallo del 82 %.

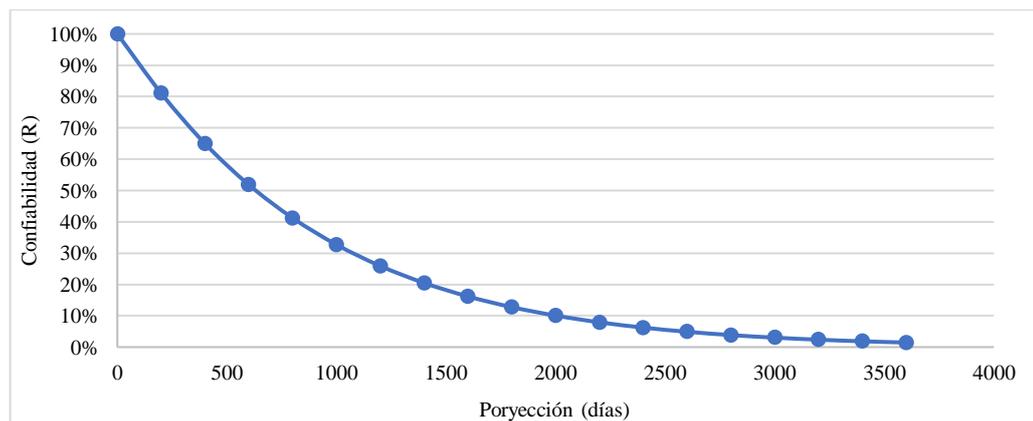


Ilustración 26. Función de confiabilidad para el análisis de la bomba dosificadora de defloculante. Fuente: (Elaboración Propia).

### 3.4.2 Eficiencia de la bomba dosificadora de defloculante

En la Tabla 21 se presenta las pérdidas energéticas del sistema de dosificación de defloculante, las cuales fueron calculadas (Anexo 8) en base a un nivel de referencia y un balance de energía mecánica (Ecuación de Bernoulli), con el propósito de obtener el valor de la carga total de energía de la bomba de 8,2984 m.



Tabla 21. *Perdidas energéticas del sistema de dosificación de defloculante.*

<b>Cargas</b>	<b>Valor (m)</b>
Perdidas por fricción en la tubería	3,3532
Perdidas por fricción en accesorios	0,0247
Por altura	4,9200
De velocidad	0,0006
<b>Carga de energía Total</b>	<b>8,2984</b>

*Fuente: (Elaboración Propia).*

La Tabla 22 representa las potencias real y teórica del análisis de la bomba dosificadora de defloculante, en la que se observa que tiene una eficiencia del 0,68 %.

Tabla 22. *Potencias y eficiencia del sistema de dosificación de defloculante.*

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
Potencia útil de la bomba (kW)	0,0025
Potencia teórica fabricante (kW)	0,3700
Eficiencia (%)	0,68

*Fuente: (Elaboración Propia).*



## **4. DISCUSIONES**

### **4.1 Calidad de agua para molienda**

De acuerdo con los resultados de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua que provienen de la Piscina (Tabla 4), se demostró que tiene una variabilidad mínima en torno al tiempo, acorde con Rustom Jabbar (2012), donde un coeficiente de variación alrededor del 20% corresponde a una homogeneidad de datos moderada. Por lo que se consideró como un agua de alta calidad, acorde con el tratamiento que se realiza al agua en la empresa cerámica durante su extracción.

El agua de la Cisterna que corresponde al mayor volumen de agua empleada como materia prima en el proceso de molturación vía húmeda para la preparación de las barbotinas, se consideró como un agua de baja calidad debido a la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos analizados (Tabla 5), es decir, se encuentra influenciada por la cantidad de sólidos totales aportado por los lavados de los diferentes casos de estudio analizados (planta, molinos, atomizadores y silos). Estos resultados están acordes con Moliner-Salvador (2017) y Chiriboga (2018), donde se describe que el agua empleada en la molienda de pastas de coloración roja es una de la más baja calidad dentro del proceso productivo, debido a que es un conjunto de aguas de lavado y material recuperado de otras secciones.

### **4.2 Óptimo de defloculante en base a la calidad del agua**

Al analizar la viscosidad mínima de las curvas de defloculación se observó que existe un aumento del contenido de defloculante del 0,6% (Piscina) al 0,8% (Cisterna) entre las fuentes de agua empleadas como materia prima en la empresa cerámica, por lo que se comprobó que existe una relación directa entre la efectividad defloculante y la calidad de agua. Este resultado se relaciona con la mezcla de defloculantes (13% acrilato de sodio - 87% silicato de sodio) utilizado en los ensayos y lo que plantean Molina-Macías y Peñuela (2019) y Lalau y otros (2016), donde indican que los defloculantes inorgánicos son sensibles a la naturaleza y cantidad de iones presentes en la suspensión, por ello es necesario mejorar la calidad de agua y analizar el costo-beneficio de modificar la mezcla de defloculantes.



Dentro de los iones flocculantes analizados mediante una regresión lineal múltiple en las muestras de agua (Cisterna) empleada como materia prima en la molturación vía húmeda de la empresa cerámica, se estableció que la concentración de aluminio ( $Al^{3+}$ ) es la variable más relacionada con el comportamiento reológico de la barbotina al 0,8% de defloculante, sin embargo, como indica da Silva y otros (2008) y Barboni y otros (2019), el comportamiento reológico de una suspensión cerámica es controlado no solamente por el tipo de defloculante utilizado en el proceso, sino también por la dureza y el pH del agua, y las características de las materias primas utilizadas. En base a lo antes mencionado, es conveniente analizar un modelo de predicción más amplio, sin embargo, se cumplió con el objetivo de comprobar el efecto que produce una calidad de agua baja en el proceso de defloculación.

Al determinar los límites de los parámetros fisicoquímicos del agua (concentración de aluminio, conductividad electrolítica y densidad), se comprobó que, al trabajar dentro de estos parámetros, la interferencia de los iones flocculantes se aminora, mostrando un comportamiento más estable de la viscosidad aparente y reduciendo el consumo de defloculante. Esto se podría relacionar con lo que plantean Penner y Lagaly (2000) y Avalos (2018), donde indican que el comportamiento de flujo de las dispersiones de cerámicas en presencia de sales y ácidos muestra claramente el efecto flocculante con los iones multivalentes, por lo que si reducimos la concentración de iones flocculantes presentes en el agua empleada en la molturación vía húmeda de la empresa cerámica se obtendrán beneficios económicos y tecnológicos. Además, al realizar un histograma comprobamos que los límites propuestos de la conductividad electrolítica y la densidad abarcan el 80% y el 70% de la frecuencia acumulada de las muestras de agua registradas durante el estudio, por lo que los límites propuestos no van a representar un gran impacto a la empresa al momento de ser implementados.

Durante la realización de este estudio, se presentaron una serie de limitantes que dificultaron el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos. El tamaño de la muestra de esta investigación se realizó con una total de 26 muestras de agua, de las cuales 17 corresponden al agua extraída de la Cisterna y 6 de la Piscina, por lo tanto, el bajo número de análisis fisicoquímicos impide que los resultados sean generalizables en lo que respecta a la calidad del agua a lo largo del tiempo, por ello es necesario realizar ajustes



en los límites de control propuestos a medida que las condiciones de la molturación vía húmeda cambien.

#### **4.3 Repetibilidad de parámetros fisicoquímicos en los casos de estudio**

En la empresa cerámica se controla de forma automática la densidad del agua empleada como materia prima para conservar el contenido de sólidos netos de la barbotina, sin embargo, la restricción de la densidad máxima con la que ingresa el agua de cisterna al molino se controla de forma manual, por lo que se identificó un patrón de comportamiento para facilitar el control de los sólidos aportados por los lavados. En los casos de estudio de Atomizador y Molino 1 se establece una repetibilidad media que corresponde a una frecuencia de lavado estimada de una semana (Tabla 2), por lo tanto, en futuros lavados de estos equipos es altamente probable que mantengan la cantidad de sólidos totales aportados, en tanto para los demás casos de estudio es necesario mantener un control más exhaustivo de sus propiedades.

#### **4.4 Funcionamiento óptimo de la bomba dosificadora**

En el análisis de confiabilidad de la bomba de impulsión para la dosificación del defloculante, se obtuvo un parámetro de forma Beta  $\beta > 1$  el cual indica que se localiza en la fase desgaste y se espera que falle con una seguridad del 82 %, este hecho se evidencia en los datos proporcionados por la empresa cerámica, donde se detallan los mantenimientos preventivos y correctivos de la pérdida de funcionalidad de la bomba dosificadora generada por el tiempo.

En la bomba de impulsión para la dosificación del defloculante, se observó una baja eficiencia, atribuible a un caudal de trabajo que se encuentra por debajo de la media de la capacidad máxima de bomba dosificadora y una viscosidad del fluido alta que provoca flujo laminar, sin embargo, según el manual de Eficiencia Energética Industrial (2018), el sobredimensionamiento en las bombas de desplazamiento positivo no afecta la dosificación del defloculante al sistema de molienda, por lo que, al momento de reemplazar la bomba de dosificación se debe tomar en cuenta todas las consideraciones mencionadas.



## CAPITULO IV

### 5. CONCLUSIONES

El objetivo fundamental de este estudio es mejorar el proceso de dosificación de defloculante a través de analizar y determinar los parámetros de mayor influencia en el mismo.

- En base a los análisis fisicoquímicos realizados en el laboratorio de saneamiento de ETAPA se puede categorizar el agua que proviene del conjunto de lavados dentro de la empresa cerámica y que es empleada como materia prima en la fabricación de pavimentos gresificados, como de baja calidad, lo que conlleva a variaciones intermitentes en las propiedades de la barbotina e interfiere con la efectividad del defloculante, además el agua que proviene de la piscina se la cataloga como una de alta calidad, por la baja concentración de sólidos disueltos.
- Al contrastar los efectos provocados en la viscosidad de las pastas cerámicas por el uso de un agua de baja calidad con los iones floclulantes analizados en el estudio, se encontró que a altas concentraciones de aluminio la efectividad del defloculante “como recurso dispersante en una suspensión acuosa de polvos coloidales” decae drásticamente. Además, se observa que la conductividad electrolítica es el parámetro que guarda una mayor relación con concentración de aluminio.
- Al definir límites experimentales de los parámetros fisicoquímicos del agua de mayor influencia sobre la viscosidad de la barbotina, para llevar a cabo acciones de control, se establecieron en rangos de control de (723,47 - 1077,45) mg/l para la concentración de aluminio, (540 - 575)  $\mu\Omega$  para la conductividad electrolítica y (1,0794 - 1,1330) g/cm<sup>3</sup> para la densidad. Además, se encontró que el promedio del rango de control de la conductividad electrolítica y densidad abarcan el 80 y 70 % de la frecuencia acumulada recabada durante el estudio, por lo que se determinó que estos son los parámetros fisicoquímicos más adecuados para realizar un control habitual de la calidad del agua.
- Los óptimos de defloculante se establecieron en base a los requerimientos operacionales de la pasta cerámica y escenarios propuestos para los ensayos de defloculación, partiendo de una muestra de agua (Cisterna) que influya de manera negativa en la viscosidad de la barbotina y complementándola con una de buena calidad (Piscina) (130  $\mu\Omega$ ; 0,9976 g/cm<sup>3</sup>). El óptimo de defloculante a una



densidad de barbotina de  $1,64 \text{ g/cm}^3$  se estableció en porcentaje respecto al sólido en 0,9 % para el ensayo de defloculación denominado “Patrón” ( $630 \mu\Omega$ ;  $1,1565 \text{ g/cm}^3$ ), 0,8 % para el ensayo “Conductividad” ( $550 \mu\Omega$ ;  $1,1102 \text{ g/cm}^3$ ) y en 0,8 % para el ensayo “Densidad” ( $520 \mu\Omega$ ;  $1,1012 \text{ g/cm}^3$ ), demostrando que al mejorar la conductividad electrolítica, es decir, la calidad del agua empleada como materia prima, la curva de defloculación va a mostrar un comportamiento más estable y el gasto de defloculante va a disminuir.

- En base al análisis de los escenarios propuestos para los ensayos de defloculación, los límites de los parámetros fisicoquímicos que mejoran la calidad del agua se establecieron en  $550 \mu\Omega$  para la conductividad electrolítica y  $1,11 \text{ g/cm}^3$  para la densidad.
- Los óptimos de defloculante a densidades de barbotina de 1,64; 1,65; 1,66 y  $1,67 \text{ g/cm}^3$  a una conductividad de  $550 \mu\Omega$  se establecieron en 0,8; 0,9; 1 y 1,1 % respectivamente del contenido de defloculante en porcentaje respecto al sólido.
- Al identificar un patrón de comportamiento, clasificando los diferentes casos particulares en los que se da un aporte de sólidos atípico bajo un criterio cualitativo, se encontró que la repetibilidad de los parámetros fisicoquímicos del agua para el caso de estudio de planta, molino 2 y silos se los puede clasificar con una repetibilidad baja, en tanto para el atomizador y molino 1 se los cataloga con una repetibilidad media.
- El análisis de confiabilidad de la bomba de impulsión de defloculante en base a una distribución de Weibull mostró que la confiabilidad actual de la bomba es del 18 % indicando una fase de desgaste.
- Al realizar el balance de energía mecánica de la bomba dosificadora de defloculante, se obtuvo una eficiencia mecánica del 0,68 % producto de un bajo caudal de trabajo con una alta viscosidad de fluido.



## 6. RECOMENDACIONES

Una vez concluido este estudio, se recomienda investigar sobre otros aspectos relacionados con la mejorara del proceso de dosificación del defloculante en la empresa cerámica y se propone:

- Extender los estudios al analizar con mayor detenimiento el origen de la concentración intermitente del catión aluminio en la composición química del agua de baja calidad (Cisterna), debido a que es el principal flocculante que disminuye la efectividad del defloculante.
- Trabajar en mejorar el control del lavado que se realiza en la planta y los equipos involucrados en la fabricación de revestimientos cerámicos como: atomizadores, silos y molinos, para disminuir el aporte atípico de sólidos y mantener un rango estable de la calidad de agua.
- Establecer una primera base de datos de la densidad del agua de baja calidad (Cisterna), que es empleada como principal materia prima en la molienda vía húmeda.
- Mejorar el control del límite de la densidad del agua que ajusta la relación del contenido de sólidos y el agua, tomando como nuevos límites los valores de los parámetros fisicoquímicos del agua usados en el ensayo denominado “Conductividad”.
- Establecer como control habitual, además de la densidad, la conductividad electrolítica del agua de baja calidad (Cisterna), ya que dicho parámetro guarda una mayor correlación con el comportamiento de la viscosidad de la pasta cerámica.
- Realizar una evaluación más profunda del sistema de dosificación de defloculante.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, J. (2003). *Ingeniería de confiabilidad*. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica
- Avalos, H. (2018). *Efecto de la fuerza iónica sobre la estabilidad coloidal de nanopartículas de SiO<sub>2</sub> en soluciones acuosas* (Tesis de licenciatura). Universidad autónoma de Puebla, Mexico.
- Barba, A., Beltrán, V., Felú, C., García, J., Ginés, F., Sánchez, E., & Sanz, V. (2002). *Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas*. Castellón, España: Instituto Tecnología Cerámica.
- Barboni, T., Devoli Díaz, J. G., Mujica, C., Peralta, M., & Gentile, G. J. (2019). *Estudio de la influencia de fuerza iónica, pH y materia orgánica natural en la agregación de nanopartículas de dióxido de titanio*. Recuperado de: <https://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/1791>
- Bustamante-Rúa, M. O., López-Valdivieso A., & Usuga-Manco, L. M. (2015). Estudio de la hidrofobicidad de la caolinita de La Unión, Antioquia. *Tecno Lógicas*. 18(35). 71-81.
- Carraro, G., Pallis, P., Leontaritis, A. D., Karellas, S., Vourliotis, P., Rech, S., & Lazzaretto, A. (2017). Experimental performance evaluation of a multi-diaphragm pump of a micro-ORC system. *Energy Procedia*, 129, 1018-1025. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.232>
- Chiriboga, A. S. (2018). *Determinación toxicológica y biosorción de aluminio en aguas residuales de la industria cerámica* (Tesis doctoral). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- da Silva, J. G. B., de Carvalho, E. F. U., Kuhnen, N. C., Riella, H. G., & Bernardin, A. M. (Febrero de 2008). INFLUENCIA DEL AGUA DE PROCESO EN LA VISCOSIDAD DE LA SUSPENSIÓN CERÁMICA. En S. M. Huguet (Presidencia), *X Congreso mundial de la calidad del azulejo y del pavimento cerámico*. Congreso llevado a cabo en Castellón, España. Recuperado de: <https://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/0832230s.pdf>
- De las Heras, S. (2019). *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Universitat Politecnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politecnica.
- Eficiencia Energética Industrial, (2018). *Manual de optimización de sistemas de bombeo*. Colombia: Eficiencia Energética Industria de ONUDI. Recuperado de:



- [https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/EEIColombia/Manual\\_sistemas\\_bombeo.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/EEIColombia/Manual_sistemas_bombeo.pdf)
- Enrique, J., Monfort, E., Busani, G. & Mallo, G. (2011). Reciclado de aguas residuales en la fabricación de baldosas cerámicas. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 39(1). 149-154.
- Gasca, M. C., Camargo, L. L., & Medina, B. (2017). Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial. *Información tecnológica*, 28(4), 111-124. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400014>
- Güeto, J. M. (2012). *Materias primas para pastas cerámicas: Tecnología de los materiales cerámicos*. Ediciones Díaz de Santos.
- Harriott, P., McCabe, W. L., & Smith, J. C. (2002). *Operaciones unitarias en ingeniería química*: Mc. Graw-Hill.
- Hu, F., Xu, C., Li, H., Li, S., Yu, Z., Li, Y., & He, X. (2015). Particles interaction forces and their effects on soil aggregates breakdown. *Soil and Tillage Research*, 147, 1-9. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.11.006>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1998). *AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS* (NTE INEN 2169). Recuperado de: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2169.pdf>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO* (NTE INEN 2176). Recuperado de: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2226-1.pdf>
- Idzkowska, A., Sato, K., Sakka, Y., & Szafran, M. (2015). Deflocculation and stabilization of  $Ti_3SiC_2$  ceramic powder in gelcasting process. *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 123(1443), 1010-1017. Recuperado de: <https://doi.org/10.2109/jcersj2.123.1010>
- Kendall, K., & Roberts, A. D. (2015). Van der Waals forces influencing adhesion of cells. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1661), 20140078. Recuperado de: <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0078>
- Laboratorio de agua potable ETAPA. (2013). *Costos de los análisis de parámetros fisicoquímicos*. Laboratorio de saneamiento ETAPA. Cuenca, Ecuador.
- Lalau, F. R., Melo, A. R., Feltrin, J., & Faraco, M. N. S. (2016). Estudo da Influência da Dureza da Água Sobre a Defloculação e o Comportamento Reológico de uma



- Suspensão Cerâmica. *Cerâmica Industrial*, 21(5-6), 25-34. Recuperado de: <https://doi.org/10.4322/cerind.2016.032>
- Menéndez, A. (2017). *Modelado numérico de bombas volumétricas de diafragma* (Tesis doctoral). Universidad de Oviedo, España.
- Mezger, T. (2020). *The Rheology Handbook: For users of rotational and oscillatory rheometers*. European Coatings.
- Molina-Macías, A. K. & Peñuela, G. A. (2019). Efecto de la calidad del agua del proceso de beneficio en la reología de las suspensiones de caolín cerámico. *Ingeniería y competitividad*, 21(1), 117-126.
- Moliner Salvador, R. C. (2017). *Aplicaciones estratégicas de la Nanofiltración para el tratamiento de las aguas en la industria cerámica*. (Tesis doctoral). Universitat Jaume I. doi: 10.6035/14031.2017.16958
- Moliner-Salvador, R., Deratani, A., Palmeri, J. & Sánchez, E. (2012). Use of nanofiltration membrane technology for ceramic industry wastewater treatment, *Boletín la Sociedad Española Cerámica y Vidrio*, 51(2), 103-110.
- Mondragón, R., Juliá, J. E., Barba, A., & Jarque, J. C. (2014). Preparación y caracterización de nanofluidos: Influencia de variables sobre su estabilidad, estado de aglomeración y propiedades físicas. *Boletín la Sociedad Española Cerámica y Vidrio*, 53(3), 101-110.
- Pascual, C. M. (2010). *Cristalografía y mineralogía*. Recuperado de: <http://ocw.uniovi.es/course/view.php?id=94>
- Penner, D. & Lagaly, G. (2000). Influence of Organic and Inorganic Salts on the Coagulation of Montmorillonite Dispersions. *Clays and Clay Minerals*, 48(2), 246-255. doi: 10.1346/CCMN.2000.0480211
- Poirier, T., Baena, J., Picardo, C. & Hung, X. (2014). Relevancia del factor materia prima en un proceso cerámico industrial: Un caso de estudio venezolano. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 29(3), 103-113.
- Rodríguez, A. (2015). *Determinación automática de la eficiencia volumétrica y otros parámetros de operación de bombas alternativas de hormigón mediante análisis de los pulsos de presión en su salida* (tesis doctoral). Universidad politécnica de Madrid, Madrid, España.



- Pineda, W. X. (2015). *Diseño y construcción de una bomba de pistón alternativa sumergible para el molino multicapa americano de A.A.R.N.R de la U.N.L.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Ecuador
- Prieto, C., & Edith, N. (2014). Valoración de minerales arcillosos del departamento de Boyacá (Colombia) para la producción de materiales cerámicos. (Tesis Doctoral). Universitat Jaume. Recuperado de: <http://www.tdx.cat/handle/10803/669072>
- Quereda Vázquez, M., García-Ten, F. J., Ros Dosedá, T., Gil Albalat, C., Chumillas Villalba, D., Zaera, V., & Segura Mestre, M. (Febrero de 2016) LIFECERAM. RESIDUO CERO EN LA FABRICACIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS. En J. V. Bono (Presidencia), *XVI Congreso mundial de la calidad del azulejo y del pavimento cerámico (Qualicer)*. Congreso llevado a cabo en Castellón, España. Recuperado de: [lifeceram.eu/media/11462/45-pon-esp.pdf](http://lifeceram.eu/media/11462/45-pon-esp.pdf)
- Rozo, D. A., Molina, J. S., & Gelves, J. F. (2017). Influencia de las materias primas y de la técnica de moldeo en la fabricación de productos cerámicos tipo gres. *Ingeniería y Competitividad*, 19(2).
- Rustom Jabbar, A. (2012). Estadística descriptiva, probabilidad e inferencia. Una visión conceptual y aplicada, Recuperado de: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/120284>
- SACMI, A. E. D. T. C. (2004). *Tecnología cerámica aplicada* (Vols. 1-2). Castellón de la Plana, España: Faenza Editrice Iberica.
- Sánchez, E., García-Ten, J., & Regueiro y González-Barros, M. (2011). Materias para la industria cerámica española. Situación actual y perspectivas. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 45(1), 1-12. Recuperado de: <https://doi.org/10.3989/cyv.2006.v45.i1.322>
- Sánchez-Molina, J., Sarabia-Guarín, A., Álvarez-Rozo, D. C. (2016). Evaluación de materias primas utilizadas en la fabricación de baldosas de gres en el sector cerámico de Norte-de-Santander (Colombia). *Respuestas*. 21(2), 48-56. Recuperado de: <https://doi.org/10.22463/0122820X.776>
- Sanchis, R., Ariño, C., Peñarrocha-Alós, I. & Pérez, J. A. (2008). Problemas de control con medidas escasas en la industria de fabricación de azulejos. En M. A. Salichs Serra-Prat, J. (2016). Estudi d'adhesió d'una ceràmica felsdpàtica amb diferents aliatges de crom cobalt colat, fresat i sinteritzat (Tesis Doctoral). Universidad Internacional de Cataluña, España.



- Serra, M., Picicco, M., Moyas, E., Suarez, G., Esteban, A., & Rendtorff, N. (2011). *EFFECTO DE LA ADICIÓN DE TALCO, ESPODUMENO Y CARBONATO DE CALCIO COMO FUNDENTES SECUNDARIOS EN LAS PROPIEDADES DE LA CERÁMICA TRIAXIAL (ARCILLA-CUARZO-FELDESPATO)*. En R. Bolmaro. *XI Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales*. Congreso llevado a cabo en Rosario, Argentina.
- Tapia, R., & Fernando, F. (2018). *Análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad mediante la aplicación de la distribución de Weibull. Estudio de caso separadoras de aceite Westfalia de la empresa Agip Oil Ecuador*. Recuperado de: <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/8739>
- Tapia, H., & Carolina, E. (2019). *Manual de Agentes Carcinógenos de los Grupos 1 y 2 A de la IARC, de interés ocupacional en la industria textil, Cantón Cuenca 2018*. (Tesis doctoral). Universidad del Azuay. Recuperado de: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9194>
- Uribe, R., Chico, A., Rosas, N., & Lascano, L. (2020). *Minerales arcillosos del Ecuador. Protocolo de categorización cerámica: una revisión. infoANALÍTICA, 8(1), 57-80*.
- Yañez, M., Gómez de la Vega, H., & Valbuena, G. (2004). *Ingeniería de confiabilidad y análisis probabilístico de riesgo. Reliability & Risk Management CA*. ISBN, 980-12-12-0116-9
- Yoval, L. S., Palacios, L. M., Soberanis, M. P., & Guzmán, L. O. S. (2013). *Potencial zeta como una herramienta para determinar la aglomeración de las partículas en la reducción del volumen del lodo a disponer. Instituto Mexicano de tecnología del Agua*.

## ANEXOS

### Anexo 1. Registro fotográfico



*Ilustración 27. Conductímetro.*



*Ilustración 28. pHmetro.*



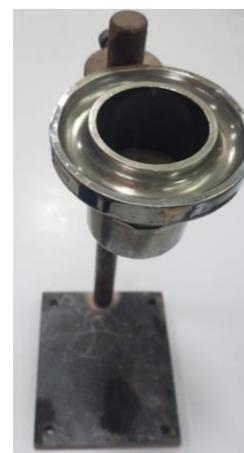
*Ilustración 29. Estufa.*



*Ilustración 30. Balanza térmica.*



*Ilustración 31. Molino rápido de laboratorio.*



*Ilustración 32. Copra Ford, boquilla # 4.*

**Anexo 2. Bitácora de lavado que alimenta la cisterna de agua**

En la bitácora de lavado se especifica en que equipo se realiza la limpieza obviando el lavado diario que se realiza en la planta todos los días.

*Tabla 23. Lavado de equipos, fecha, duración, equipo específico y sector dentro del área industrial.*

<b>Mes</b>	<b>Día</b>	<b>Duración</b>	<b>Equipo</b>	<b>Sector</b>
	21	11H00 a 12H00	Molino 1	Planta 1
	22	09H00 a 11H00	Atomizador #1 y #2	Planta 1
	23	16H00 a 19H00	Silo #14	Planta 1
	24			
	25	06H30 a 07H30	Silo #12	Planta 1
		08H40 a 09H30	Silo # 5	Planta 2
<b>Agosto</b>	26	10H45 a 11H36	Silo # 1	Planta 2
		18H00 a 19H00	Silo # 4	Planta 2
	27			
	28	03H00 a 04H00	Atomizador #1	Planta 2
	29	04H30 a 06H10	Silo #15	Planta 1
	30	20H00 a 20H50	Silo #1	Planta 1
	31	19H30 a 20H15	Molino 2	Planta 1
	1	08H00 a 09H00	Atomizador #2	Planta 1
	2			
	3			
	4	02H30 a 03H30	Silo #7	Planta 2
		10H00 a 13H30	Silos #2, #3 y #5	Planta 2
	5			
<b>Septiembre</b>	6			
	7	13H20 a 14H25	Silo #1	Planta 2
		14H35 a 15H25	Silo #4	Planta 2
	8	17H45 a 18H00	Atomizador #1	Planta 1
	9			
	10			
	11			
	12			



	13	00H05 a 00H48	Atomizador #1	Planta 1
	14			
	15	16H00 a 16H50	Silo #10	Planta 1
	16	10H00 a 11H00	Molino 1	Planta 1
	17	05H00 a 06H30	Atomizador #2	Planta 1
	18	06H00 a 07H30	Molino 2	Planta 1
	19			
	20			
	21	09H30 a 10H30	Atomizador #1	Planta 1
	22			
	23			
	24	17H00 a 17H40	Atomizador 2	Planta 1
	25			
	26			
	27			
	28	11H50 a 12H20	Atomizador 1	Planta 1
	29			
	30	04H30 a 05H30	Molino 2	Planta 1
		07H30 a 08H30	Atomizador 2	
	1			
	2	07H20 a 08H00	Molino 1	Planta 1
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
<b>Octubre</b>	8	08H00 a 08H30	Atomizador 1	Planta 1
	9			
	10			
	11	16H30 a 17H05	Atomizador 1	Planta 1
	12			
	13			
	14			



15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22	08H00 a 08H40	Atomizador 1	Planta 1
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30	16H00 a 16H30	Atomizador 1	Planta 1
31	08H00 a 08H50	Silos	Planta 1

---

*Fuente: (Elaboración Propia).*

**Anexo 3. Registro de parámetros fisicoquímicas**

Tabla 24. Temperatura, pH, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua de la cisterna.

AGUA CISTERNA						
Muestra	Caso	Fecha	Temperatura	pH	Conductividad	Densidad
#	Estudio		(o C)		( $\mu\Omega$ )	(g/cm <sup>3</sup> )
C1	Planta	21/08/20	18,6	8,5	525	1,1110
C2	Molino 1	21/08/20	20,1	8,4	670	1,1690
C3	Atomizador 1 y 2	22/08/20	16,8	8,9	350	1,0640
-	Planta	24/08/20	19,1	8,6	600	1,1737
C4	Silos	25/08/20	17,7	8,7	450	1,0930
-	Silos	26/08/20	15	9,1	325	1,0667
-	Planta	27/08/20	17,1	8,1	120	1,0024
-	Atomizador	28/08/20	19,7	9,0	390	1,1033
-	Planta	31/08/20	18	9,1	310	1,0735
C5	Molino 2	31/08/20	17,8	9,4	400	1,0391
C6	Silos	07/09/20	18,2	9,2	350	1,1330
-	Planta	09/09/20	19,9	9,3	375	1,1024
-	Planta	10/09/20	17,6	9,0	310	1,0910
-	Planta	11/09/20	17,3	9,3	340	1,0911
-	Planta	16/09/20	22,3	9,3	375	1,0910
C7	Molino 1	16/09/20	20,6	9,4	390	1,1070
-	Atomizador 2	17/09/20	20,5	9,0	460	1,0847
C8	Molino 2	18/09/20	21,6	8,5	540	1,0837
C9	Atomizador 1	21/09/20	22	8,5	650	1,0987
-	Planta	23/09/20	19,5	8,5	525	1,0805
C10	Planta	24/09/20	19,2	8,4	475	1,0605
-	Atomizador	24/09/20	19,9	8,8	525	1,1278
-	Planta	28/09/20	18,8	8,1	670	1,0728



C11	Atomizador 1	28/09/20	20,4	8,2	660	1,0794
-	Planta	29/09/20	21,1	8,5	610	1,0930
C12	Molino 2 – Atomizador	30/09/20	20,7	8,7	575	1,0818
-	Planta	01/10/20	17,8	8,1	200	1,0103
C13	Molino 1	02/10/20	23,6	8,5	675	1,1506
-	Planta	07/10/20	18,3	9,4	440	1,1375
-	Planta	12/10/20	18,6	8,4	470	1,0775
C14	Planta	14/10/20	21,8	8,5	540	1,1402
-	Planta	16/10/20	20,1	8,2	140	1,0104
C15	Planta	21/10/20	21,7	9,3	350	1,0987
C16	Planta	28/10/20	18,6	7,9	230	1,0134
-	Atomizador	30/10/20	20	8,3	580	1,1010
C17	Silos	31/10/20	20,3	8,3	830	1,1506

---

Fuente: (Elaboración Propia).



Tabla 25. Temperatura, pH, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua de la piscina.

AGUA PISCINA					
Muestra #	Fecha	Temperatura (o C)	pH	Conductividad ( $\mu\Omega$ )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
-	26/08/20	16,1	7,3	100	0,9985
-	27/08/20	16,3	7,3	105	0,9987
-	28/08/20	15,6	7,3	105	0,9988
-	31/08/20	15,9	7,5	105	0,9983
P1	01/09/20	15,9	7,3	110	0,9983
-	02/09/20	16,7	7,2	110	0,9986
-	04/09/20	16,2	7,3	110	0,9987
-	08/09/20	17,2	7,3	120	0,9988
-	11/09/20	16,4	7,3	100	0,9982
-	15/09/20	16,5	7,3	100	0,9983
-	18/09/20	17,5	7,4	110	0,9982
-	21/09/20	22,1	7,1	145	0,9983
P2	22/09/20	21,5	7,2	160	0,9982
-	23/09/20	17,9	7,3	175	0,9983
-	24/09/20	17,4	7,4	200	0,9984
-	25/09/20	16	7,1	175	0,9986
-	28/09/20	16	7,5	160	0,9983
-	29/09/20	19,2	7,5	175	0,9982
-	30/09/20	16,8	7,5	160	0,9984
P3	01/10/20	17,1	7,3	170	0,9987
-	02/10/20	17,1	7,3	160	0,9983
-	07/10/20	16,3	7,5	105	0,9987
-	12/10/20	15,8	7,5	110	0,9986
P4	14/10/20	17,6	7,6	140	0,9986
-	16/10/20	19,8	7,6	200	0,9988
P5	21/10/20	18,1	7,5	110	0,9984
P6	28/10/20	18,8	7,4	110	0,9979
-	30/10/20	17,2	7,8	110	0,9984

Fuente: (Elaboración Propia).

**Anexo 4. Análisis fisicoquímicos****A. Resultados de los análisis fisicoquímicos (ETAPA)**

Tabla 26. Número de muestra y concentración de iones floculantes presentes en el agua de cisterna.

<b>AGUA CISTERNA</b>					
<b>Muestra #</b>	<b>Dureza Total (mg CaCO<sub>3</sub>/l)</b>	<b>Dureza Cálctica (mg CaCO<sub>3</sub>/l)</b>	<b>Dureza Magnésica (mg CaCO<sub>3</sub>/l)</b>	<b>Concentración Sulfatos (mg/l)</b>	<b>Concentración Aluminio (mg/l)</b>
C1	11000	6000	5000	469,07	498,30
C2	25000	11000	14000	283,51	999,46
C3	11000	5000	6000	675,26	464,09
C4	24000	6000	18000	417,53	828,74
C5	19000	5000	14000	1454,5	1077,45
C6	12000	2000	10000	295,7	1009,80
C7	23000	0	23000	252,2	0,22286
C8	16000	0	16000	165,2	1018,71
C9	30000	0	30000	165,2	899,69
C10	20000	0	20000	187	5,3064
C11	4896	0	4896	59,8	1046,76
C12	18360	5100	13260	117,1	402,38
C13	30600	6120	24480	277,1	723,47
C14	2600	1600	1000	315,6	1276,88
C15	18000	3000	15000	180,8	465,08
C16	2700	0	2700	12,4	164,23
C17	918	0	918	291,8	2082,025

Fuente: (Elaboración Propia).

Tabla 27. Muestras y concentración de iones floculantes presentes en el agua de piscina.

<b>AGUA PISCINA</b>					
<b>Muestra #</b>	<b>Dureza Total (mg CaCO<sub>3</sub>/l)</b>	<b>Dureza Cálctica (mg CaCO<sub>3</sub>/l)</b>	<b>Dureza Magnésica (mg CaCO<sub>3</sub>/l)</b>	<b>Concentración Sulfatos (mg/l)</b>	<b>Concentración Aluminio (mg/l)</b>
P1	62	42	20	10,2	0,57365
P2	72	40	32	20,3	0,59037
P3	69,36	44,8	24,56	7,7	0,52777



P4	52	42	10	8,4	0,34507
P5	58	34	24	8,0	0,33836
P6	60	38	22	6,7	0,45936

Fuente: (Elaboración Propia).

## B. Cálculo del coeficiente de variación

Tabla 28. Media, desviación estándar y coeficiente de variación de los parámetros fisicoquímicos del agua de Cisterna.

AGUA CISTERNA			
Parámetros fisicoquímicos	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
pH	9,44	1,29	13,7%
Conductividad	509,41	156,14	30,7%
Densidad	1,57	1,94	123,7%
Dureza Total	15827,88	9388,96	59,3%
Dureza Cálcica	2989,41	3260,58	109,1%
Dureza Magnésica	12838,47	8635,52	67,3%
Concentración Sulfatos	330,57	329,85	99,8%
Concentración Aluminio	762,51	517,37	67,9%

Fuente: (Elaboración Propia).

Tabla 29. Media, desviación estándar y coeficiente de variación de los parámetros fisicoquímicos del agua de Piscina.

AGUA PISCINA			
Parámetros fisicoquímicos	Media	Desviación estándar	Coeficiente de variación
pH	7,88	0,28	3,5%
Conductividad	133,33	27,33	20,5%
Densidad	1,00	0,00	0,0%
Dureza Total	62,23	7,40	11,9%
Dureza Cálcica	40,13	3,77	9,4%
Dureza Magnésica	22,09	7,19	32,5%
Concentración Sulfatos	10,22	5,07	49,6%
Concentración Aluminio	0,47	0,11	23,5%

Fuente: (Elaboración Propia).

**Anexo 5. Calidad de agua****A. Formulas para determinar la proporción de las materias primas cerámicas y auxiliares**

$$P_{AT} = \frac{\%Y * P_{MTS}}{\%X} \quad (17)$$

$$P_{MTH} = \frac{100(100P_{MTS} - \%S_{MA}(P_{MTS} + P_{AT}))}{\%MPA_{MTS}(100 - \%H_{MPA}) + \%MPB_{MTS}(100 - \%H_{MPB}) + \%MPC_{MTS}(100 - \%H_{MPC}) - 100\%S_{MA}} \quad (18)$$

$$P_{MPAH} = \%MPA_{MTS} * P_{MTH} \quad (19)$$

$$P_{MPBH} = \%MPB_{MTS} * P_{MTH} \quad (20)$$

$$P_{MPCH} = \%MPC_{MTS} * P_{MTH} \quad (21)$$

$$P_{MAS} = (P_{TMTS} + P_{TA}) - P_{MTH} \quad (22)$$

Donde:

$P_{AT}$  = Peso del agua total en fórmula

$P_{MTS}$  = Base de cálculo para la mezcla de materias primas secas

$\%X$  = Porcentaje de mezcla de materias primas en fórmula

$\%Y$  = Porcentaje de agua en fórmula

$P_{MTH}$  = Peso de la mezcla de materias primas húmedas

$P_{MPAH}$  = Peso de la materia prima A húmeda

$P_{MPBH}$  = Peso de la materia prima B húmeda

$P_{MPCH}$  = Peso de la materia prima C húmeda

$P_{MAS}$  = Peso de la muestra de agua con sólidos

$P_D$  = Peso del defloculante respecto al sólido a utilizar

$\%S_{MA}$  = Porcentaje de sólidos de la muestra de agua

$\%H_{MPA}$  = Porcentaje de humedad de la materia prima A

$\%H_{MPB}$  = Porcentaje de humedad de la materia prima B

$\%H_{MPC}$  = Porcentaje de humedad de la materia prima C

$\%MPA_{MTS}$  = Porcentaje de la materia prima A dentro de la mezcla materias primas secas

$\%MPB_{MTS}$  = Porcentaje de la materia prima B dentro de la mezcla materias primas secas

$\%MPC_{MTS}$  = Porcentaje de la materia prima C dentro de la mezcla materias primas secas

$\%D_{MTS}$  = Porcentaje en peso del defloculante respecto al sólido a utilizar



## B. Parámetros de molienda

Tabla 30. Porcentajes y peso de la mezcla de materias primas y agua para los ensayos de la calidad de agua.

Molienda	Composición (%)	Peso Neto (g)
Mezcla de materias primas	61	300
Agua	39	191,80

Fuente: (Elaboración Propia).

Tabla 31. Porcentaje y humedad de cada materia prima dentro de la mezcla de materias primas de origen mineral para la calidad de agua.

Mezcla de materias primas	Composición (%)	Humedad (%)
A	14	1,07
B	52	0,64
C	34	0,89

Fuente: (Elaboración Propia).

Tabla 32. Composición del defloculante en porcentaje.

Defloculante	Composición (%)
Acrilato de sodio	13
Silicato de Sodio	87

Fuente: (Elaboración Propia).

Tabla 33. Contenido de defloculante en porcentaje y peso respecto al sólido.

Contenido (%)	Peso respecto al sólido (g)
0,4	1,2
0,5	1,5
0,6	1,8
0,7	2,1
0,8	2,4
0,9	2,7

Fuente: (Elaboración Propia)

Tabla 34. Parámetros de densidad y residuo para la pasta cerámica.

Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Residuo (%)	Tiempo molienda (s)
1,63	2 – 3	352 s

Fuente: (Elaboración Propia).



Tabla 35. Densidad y porcentaje de sólidos en muestras de agua de Cisterna y pesos de materia primas para preparar la pasta cerámica.

Muestra de Agua			Peso materias primas (g)			
Muestra #	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	% Sólidos	Agua	A	B	C
C1	1,1110	19,1	234,59	36,01	133,75	87,45
C2	1,1690	27,9	263,54	31,96	118,70	77,61
C3	1,0640	10,5	211,85	39,19	145,58	95,18
C4	1,0930	17,4	229,72	36,69	136,29	89,11
C5	1,0391	6,8	203,37	40,38	149,99	98,07
C6	1,1330	22,4	244,67	34,60	128,51	84,03
C7	1,1070	16,6	227,49	37,00	137,44	89,87
C8	1,0837	14,2	221,07	37,90	140,78	92,05
C9	1,0987	16,6	227,49	37,00	137,44	89,87
C10	1,0605	10,4	211,61	39,23	145,70	95,27
C11	1,0794	13,6	219,52	38,12	141,59	92,58
C12	1,0818	13,9	220,29	38,01	141,19	92,31
C13	1,1506	25,1	253,58	33,35	123,88	81,00
C14	1,1402	23,4	247,90	34,15	126,83	82,93
C15	1,0987	16,7	227,77	36,97	137,30	89,77
C16	1,0134	2,8	194,93	41,56	154,37	100,94
C17	1,1506	25,1	253,58	33,35	123,88	81,00

Fuente: (Elaboración Propia).

Tabla 36. Densidad promedio del agua de Piscina y pesos de materia primas para preparar la pasta cerámica.

Muestra de Agua		Peso materias primas (g)			
Muestra #	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Agua	A	B	C
Piscina	0,9980	189,43	42,45	157,00	102,92

Fuente: (Elaboración Propia).

### C. Viscosidades



Tabla 37. Viscosidad de la barbotina en función del contenido de defloculante (% respecto al sólido) para muestras de agua de la cisterna.

Muestra #	Viscosidad (s) en función del Defloculante					
	0,4 %	0,5 %	0,6 %	0,7 %	0,8 %	0,9 %
C1		45,52	33,41	22,83	21,98	21,49
C2		53,34	38,5	25,68	23,35	22,59
C3	48,06	26,33	21,86	20,88	20,4	21,08
C4		34,22	27,84	22,32	21,34	20,4
C5	36,71	24,21	22,45	21,83	20,99	21,3
C6	47,75	24,37	21,1	20,29	19,85	20,06
C7	23,95	20,67	19,86	19,33	18,85	19,56
C8		51,6	32,85	23,67	22,01	21,35
C9		47,88	34,86	24,93	24,1	23,9
C10		39,3	29,8	22,25	21,55	21,39
C11		49,31	36,12	25,16	24,51	23,81
C12		40,06	29,01	23,08	22,31	21,5
C13		53,05	37,2	24,5	23,11	22,65
C14		52,56	38,65	28,52	26,99	24,69
C15	32,64	25,16	23	22,18	21,39	22,2
C16	42,36	25,78	22,76	21,76	20,93	21,56
C17			58,15	44,25	34,44	28,5

Fuente: (Elaboración Propia).

Tabla 38. Viscosidad de la barbotina en función del contenido de defloculante (% respecto al sólido) para muestras de agua de la piscina.

Muestra #	Viscosidad (s) en función del Defloculante					
	0,4 %	0,5 %	0,6 %	0,7 %	0,8 %	0,9 %
P1	35,29	26,94	23,45	21,53	20,35	20,43
P2	40,85	22,99	20,19	19,46	18,91	19,11
P3	31,29	21,29	19,96	19,31	18,8	19,15
P4	35,17	21,61	19,85	19,28	18,93	19,22
P5	49,9	25,11	22,5	22,36	22,25	22,07
P6	42,36	25,78	22,76	21,76	20,93	21,56

Fuente: (Elaboración Propia).

**D. Correlación de variables múltiples**

Tabla 39. Correlación de variables múltiples para iones floculantes y la viscosidad al 0,8 % del contenido de defloculante.

	Viscosidad al 0,8 % defloculante	Dureza Cálctica	Dureza Magnésica	Concentración Sulfatos	Concentración Aluminio
Viscosidad al 0,8 % defloculante	1				
Dureza Cálctica	-0,18	1			
Dureza Magnésica	-0,39	0,05	1		
Concentración Sulfatos	-0,14	0,36	-0,04	1	
Concentración Aluminio	0,79	-0,01	-0,35	0,18	1

Fuente: (Elaboración Propia).

**E. Límites de control**

Tabla 40. Concentración aluminio, conductividad electrolítica y densidad de las muestras de agua de la cisterna en función de la media superior o inferior de la viscosidad en la carta de control de medias individuales.

Muestra #	Concentración Aluminio (mg/l)		Conductividad electrolítica ( $\mu\Omega$ )		Densidad ( $g/cm^3$ )	
	Media Inferior	Media Superior	Media Inferior	Media Superior	Media Inferior	Media Superior
	C1	498,300		525		1,1110
C2		999,460		670		1,1690
C3	464,090		350		1,0640	
C4	828,740		450		1,0930	
C5	1077,450		400		1,0391	
C6	1009,800		350		1,1330	
C7	0,223		390		1,1070	
C8	1018,710		540		1,0837	
C9		899,690		650		1,0987
C10	5,306		475		1,0605	
C11		1046,760		660		1,0794



C12	402,380	575	1,0818
C13	723,470	675	1,1506
C14	1276,880	540	1,1402
C15	465,080	350	1,0908
C16	164,230	230	1,0134
C17	2082,025	830	1,1506
<b>MAX</b>	1077,45	575	1,1330
<b>MIN</b>	723,47	540	1,0794

*Fuente: (Elaboración Propia).*

**Anexo 6. Óptimo de defloculante****A. Condiciones de la calidad del agua**

Tabla 41. Tipo de agua y parámetros fisicoquímicos.

Tipo de Agua	Temperatura (° C)	pH	Conductividad electrolítica ( $\mu\Omega$ )	Densidad ( $\text{g/cm}^3$ )
Cisterna	22	8,8	630	1,1565
Piscina	22	7,4	130	0,9976

Fuente: (Elaboración Propia).

Tabla 42. Tipo de agua y concentración de iones flocculantes.

Tipo de Agua	Dureza Total (mg $\text{CaCO}_3/\text{l}$ )	Concentración Sulfatos (mg/l)	Concentración Aluminio (mg/l)
Cisterna	4386	695,5	2239,6
Piscina	77,52	27,9	0,44968

Fuente: (Elaboración Propia).

**B. Ajuste de las propiedades fisicoquímicas**

Tabla 43. Conductividad electrolítica y densidad en función de la relación de porcentajes del agua de cisterna y piscina.

Porcentaje		Conductividad electrolítica ( $\mu\Omega$ )	Densidad ( $\text{g/cm}^3$ )
Cisterna	Piscina		
100,00	0,00	630	1,1565
95,24	4,76	620	1,1489
90,91	9,09	610	1,1421
86,96	13,04	600	1,1358
83,33	16,67	590	1,1300
80,00	20,00	580	1,1247
76,92	23,08	570	1,1198
74,07	25,93	560	1,1153
71,43	28,57	550	1,1111
68,97	31,03	540	1,1072
66,67	33,33	530	1,1035



64,52	35,48	520	1,1001
62,50	37,50	510	1,0969
60,61	39,39	500	1,0939
58,82	41,18	490	1,0911
57,14	42,86	480	1,0884
55,56	44,44	470	1,0859
54,05	45,95	460	1,0835
52,63	47,37	450	1,0812
51,28	48,72	440	1,0791
50,00	50,00	430	1,0771

Fuente: (Elaboración Propia).

### C. Parámetros de molienda

Tabla 44. Porcentajes y peso de la mezcla de materias primas y agua para los ensayos de defloculación a diferentes densidades.

Densidad Barbotina (g/cm <sup>3</sup> )	Porcentaje		Peso Neto (g)	
	Materias primas	Agua	Materias primas	Agua
1,64	61,3	38,7	300	189,40
1,65	61,8	38,2	300	185,44
1,66	62,4	37,6	300	180,77
1,67	63,0	37,0	300	176,19

Fuente: (Elaboración Propia).

Tabla 45. Porcentaje y humedad de las materias primas cerámicas para el óptimo de defloculante.

Mezcla de materias primas	Composición (%)	Humedad (%)
A	9	1,18
B	57	1,09
C	34	1,04

Fuente: (Elaboración Propia).

Tabla 46. Contenido de defloculante en porcentaje y peso respecto al sólido.

Contenido (%)	Peso respecto al sólido (g)
0,5	1,5
0,6	1,8



0,7	2,1
0,8	2,4
0,9	2,7
1,0	3,0
1,1	3,3
1,2	3,6

Fuente: (Elaboración Propia).

Tabla 47. Parámetros de temperatura, densidad y residuo para la pasta cerámica.

Temperatura (° C)	Residuo (%)	Tiempo Molienda (s)
30 -31	3 – 4	300

Fuente: (Elaboración Propia).

Tabla 48. Densidades de barbotina, porcentaje de sólidos en muestras de agua y pesos de materia primas para la preparación de la pasta cerámica del óptimo de defloculante.

Barbotina		Muestra de Agua		Peso materias primas (g)			
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Escenario	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	% Sólidos	Agua	A	B	C
	Patrón	1,1565	26,0	252,55	21,32	135,00	80,53
1,64	Conductividad	1,1102	18,5	228,89	23,45	148,49	88,57
	Densidad	1,1012	17,0	224,80	23,81	150,82	89,96
1,65	Conductividad	1,1102	18,5	224,02	23,53	149,01	88,88
1,66	Conductividad	1,1102	18,5	218,28	24,00	149,62	89,25
1,67	Conductividad	1,1102	18,5	212,65	23,72	150,22	89,60

Fuente: (Elaboración Propia).

**D. Viscosidades**

Tabla 49. Viscosidad de la barbotina en función del contenido de defloculante (% respecto al sólido) para el óptimo de defloculante.

Barbotina		Viscosidad (s) en función del Defloculante							
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Escenario	0,5 %	0,6 %	0,7 %	0,8 %	0,9 %	1,0 %	1,1 %	1,2 %
	Patrón	53,16	42,58	25,92	24,87	23,82	23,74	23,59	23,23
1,64	Conductividad	38,42	29,3	25,2	22,71	22,55	22,08	22,8	22,97
	Densidad	37,27	27,36	25,04	22,59	22,36	21,79	22,72	22,76
1,65	Conductividad		49,1	33,66	31,69	28,69	27,88	26,73	25,46
1,66	Conductividad		54,2	43,28	34,26	32,62	31,94	30,59	30,03
1,67	Conductividad			53,07	44,89	40,54	35,9	35,69	34,46

Fuente: (Elaboración Propia).

**Anexo 7. Confiabilidad de la bomba de impulsión***Tabla 50. Historial de manteniendo preventivo y correctivo de la bomba de impulsión de defloculante.*

<b>Fecha</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Descripción</b>
08/11/14	Preventivo	Cambio de bomba defloculante
23/02/15	Correctivo	Construir leva templada
11/08/15	Preventivo	Bomba
12/08/15	Correctivo	Construir 2 ejes porta sin fin
21/08/17	Correctivo	Construir eje porta corona
21/08/17	Correctivo	Construir levas excéntricas
23/02/18	Correctivo	Bomba de defloculante
14/08/19	Correctivo	Reparación de bomba defloculante

*Fuente: (Elaboración Propia).*

*Tabla 51. Tiempo, fallas, desconfiabilidad y cálculos para los parámetros de confiabilidad.*

<b>Tiempo (t)</b>	<b>Fallas (i)</b>	<b>F(t)</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
178	1	0,109375	5,18178355	-2,16
276	2	0,265625	5,62040087	-1,18
277	3	0,421875	5,62401751	-0,60
1027	4	0,578125	6,93439721	-0,15
1204	5	0,734375	7,09340463	0,28
1740	6	0,890625	7,46164039	0,79

*Fuente: (Elaboración Propia).*

**Anexo 8. Eficiencia de la bomba dosificadora de defloculante****A. Datos de diseño de bomba y características del fluido***Tabla 52. Características técnicas de la bomba y el defloculante.*

<b>Cuerpo de la bomba</b>	
<b>Parámetros</b>	<b>Denominación</b>
Marca	OBL
Tipo de bomba	RCC
Modelo	RCC 62 A 70+M
<b>Diseño de la bomba</b>	
Caudal máximo (l/h)	175
Potencia útil (W)	370
Potencia absorbida (W)	549,75
Eficiencia	0,673
<b>Características del defloculante</b>	
Peso específico (N/m <sup>3</sup> )	14513,842
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1480
Viscosidad de copa Ford # 4 (cSt)	283
Viscosidad dinámica (Pas*s) (kg/m*s)	0,419
Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)	0,000282

*Fuente: (Elaboración Propia).*

**B. Sistema de dosificación de defloculante**

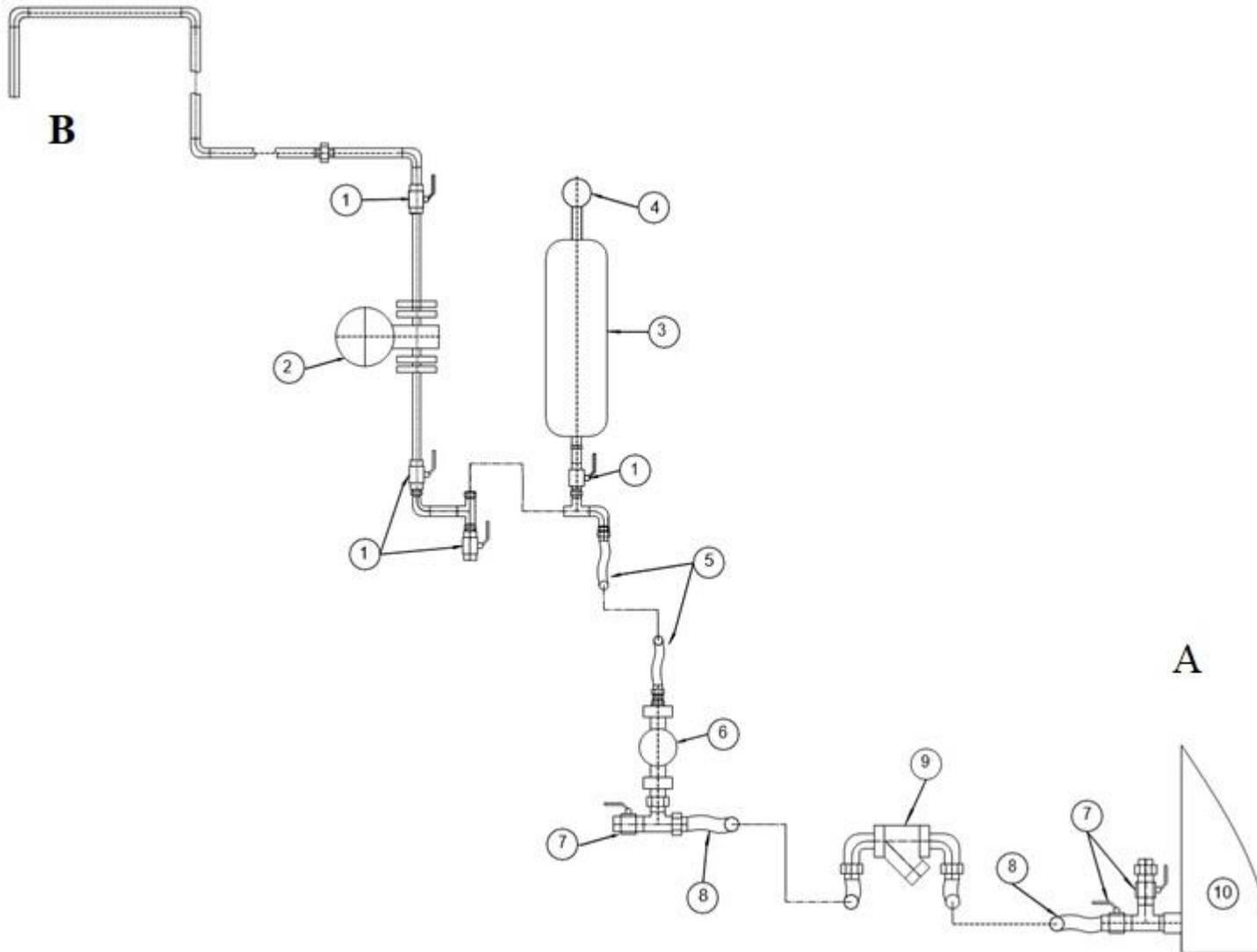


Tabla 53. Descripción de componentes de sistema de dosificación de defloculante.

#	Descripción
<b>B Tramo de Descarga</b>	
1	Válvula esférica 1/2"
2	Sensor de caudal electromagnético
3	Amortiguador de pulsaciones
4	Válvula esférica
5	Tubo flexible 1/2"
6	Bomba
<b>A Tramo de Succión</b>	
7	Válvula esférica 3/4"
8	Tubo flexible D.25
9	Filtro "Y"
10	Tanque

Fuente: (Elaboración Propia).

Ilustración 33. Sistema de dosificación de defloculante para un molino continuo.



Tabla 54. Características de tuberías del sistema de dosificación de defloculante.

Tubería	Tramo	Material	Diámetro (m)	Longitud (m)	Rugosidad (ε)
3/4 PVC	Succión	Plástico	0,02363	0,77	1,50E-06
1/2 PVC	Descarga	Acero comercial	0,01818	0,97	4,60E-05
1/2C40	Descarga	Plástico	0,01576	7,74	1,50E-06

Fuente: (Elaboración Propia).

### C. Balance de energía mecánica

Tabla 55. Perdidas por fricción del sistema de dosificación de defloculante.

Perdidas por Fricción					
Tubería	Área (m <sup>2</sup> )	Velocidad (m/s)	Reynolds	Coef. de fricción	Perdida
3/4 PVC	0,00043855	0,0475	3,9666	16,1347	0,06053619
1/2 PVC	0,00025958	0,0802	5,1557	12,4134	0,2176584
1/2C40	0,00019508	0,1067	5,9473	10,7610	3,07495818
<b>Total</b>					<b>3,353153</b>

Fuente: (Elaboración Propia).

Tabla 56. Perdidas por succión del sistema de dosificación de defloculante.

Perdidas por Succión			
Accesorio	k	Cantidad	Perdida
Te estándar con flujo directo	0,2	2	4,60279E-05
Válvula de globo Abierta por completo	10	2	0,002301394
Codo estándar a 90 °	0,9	2	0,000207125
Unión roscada	0,08	5	4,60279E-05
Filtro en Y	2,8	1	0,000322195
Tubería hacia adentro	1	1	0,00011507
<b>Total</b>			<b>0,00303784</b>

Fuente: (Elaboración Propia).



Tabla 57. Perdidas por descarga del sistema de dosificación de defloculante.

<b>Perdidas por Descarga</b>			
<b>Accesorio</b>	<b>k</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Perdida</b>
Codo estándar a 90 °	0,2	6	0,000394114
Unión roscada	10	6	0,019705688
Válvula de globo Abierta por completo	0,9	4	0,001182341
Te estándar con flujo directo	0,08	2	5,25485E-05
Salida	1	1	0,000328428
<b>Total</b>			<b>0,02166312</b>

Fuente: (Elaboración Propia).

**Anexo 9. Informes de resultados del laboratorio de saneamiento de ETAPA**

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175568	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
--	------------------------------	---------------

FECHA: 28/08/2020

INFORME N°: 241-01-20

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

NOMBRE: BERNAL VAZQUEZ DIEGO FRNANDO  
 SOLICITADO POR: ING. DIEGO BERNAL  
 DIRECCIÓN: SIN CALLE TRES DE NOVIEMBRE

**MUESTRA**

CÓDIGO: 241-01-20  
 DESCRIPCIÓN (Fuente): EFLUENTE DE PROCESO  
 PROCEDENCIA (Lugar): GRAIMAN  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 21/08/2020  
 ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: ING DIEGO BERNAL

**RESULTADOS**

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	EFLUENTE DE PROCESO 241-01-20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	21/08/2020	mgCaCO3/l	11000
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	21/08/2020	mgCaCO3/l	6000
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	26/08/2020	mg/l	469.07
ALUMINIO	SM 3120 ICP	21/08/2020	ug/l	498300
		27/08/2020		

Atentamente,

  
 BCF. María José Chérrez T.  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

**ETAPA EP**  
 Laboratorio de Saneamiento  
 Panamericana Norte Km 5,5 Ucubamba  
 Teléfono: 4175568

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175568	INFORME DE RESULTADOS	Página 1 de 1
--	-----------------------	---------------

FECHA: 31/08/2020

INFORME N°: 241-02-20

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

NOMBRE: BERNAL VAZQUEZ DIEGO FRNANDO  
 SOLICITADO POR: ING. DIEGO BERNAL  
 DIRECCIÓN: SIN CALLE TRES DE NOVIEMBRE

MUESTRA  
 CÓDIGO: 244/01-02/20  
 DESCRIPCIÓN (Fuente): EFLUENTE DE PROCESO  
 PROCEDENCIA (Lugar): GRAIMAN  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 24/08/2020  
 ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: ING DIEGO BERNAL

**RESULTADOS**

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 2 244-01-20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	24/08/2020	mgCaCO3/l	25000
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	24/08/2020	mgCaCO3/l	11000
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	26/08/2020 24/08/2020	mg/l	283.51
ALUMINIO	SM 3120 ICP	24/08/2020 27/08/2020	ug/l	999460

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 3 244-02-20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	24/08/2020	mgCaCO3/l	11000
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	24/08/2020	mgCaCO3/l	5000
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	26/08/2020 24/08/2020	mg/l	675.26
ALUMINIO	SM 3120 ICP	24/08/2020 27/08/2020	ug/l	464090

Atentamente,

  
 BQF Maria Jose Chérrez T.  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

**ETAPA EP**  
 Laboratorio de Saneamiento  
 Panamericana Norte Km 5,5 Ucubamba  
 Teléfono: 4175568

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175568	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
--	------------------------------	---------------

FECHA: 01/09/2020

INFORME N°: 246-01-20

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

NOMBRE GRAIMAN CIA.LTDA.  
SOLICITADO POR: GRAIMAN  
DIRECCIÓN: HURTADO DE MENDOZA 11 6 PASEO DE LOS CANARIS

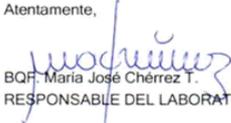
**MUESTRA**

CÓDIGO: 246-01-20  
DESCRIPCIÓN (Fuente): EFLUENTE DE PROCESO  
PROCEDENCIA (Lugar): GRAIMAN  
FECHA DE RECEPCIÓN: 25/08/2020  
ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: SR. DIEGO BERNAL

**RESULTADOS**

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 4 246/01/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	25/08/2020	mgCaCO3/l	24000
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	25/08/2020	mgCaCO3/l	6000
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	26/08/2020 25/08/2020	mg/l	417.53
ALUMINIO	SM 3120 ICP	25/08/2020	ug/l	828740

Atentamente,

  
BQT María José Chérrez T.  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175568	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
--	------------------------------	---------------

FECHA: 08/09/2020

INFORME N°: 255/02/20

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

NOMBRE: GRAIMAN CIA.LTDA.  
SOLICITADO POR: GRAIMAN  
DIRECCIÓN: HURTADO DE MENDOZA 11 6 PASEO DE LOS CANARIS

**MUESTRA**

CÓDIGO: 255/01-02/20  
DESCRIPCIÓN (Fuente): EFLUENTE DE PROCESO  
PROCEDENCIA (Lugar): GRAIMAN  
FECHA DE RECEPCIÓN: 01/09/2020  
ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: ING. DIEGO BERNAL

**RESULTADOS**

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 5 255/01/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	01/09/2020	mgCaCO3/l	19000
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	01/09/2020	mgCaCO3/l	5000
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	01/09/2020	mg/l	1454.5
ALUMINIO	SM 3120 ICP	04/09/2020	ug/l	1077450

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA P1 255/02/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	01/09/2020	mgCaCO3/l	62
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	01/09/2020	mgCaCO3/l	42
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	01/09/2020	mg/l	10.2
ALUMINIO	SM 3120 ICP	04/09/2020	ug/l	573.65

Atentamente,

  
BQF. María José Chérrez I.  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175568	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
--	------------------------------	---------------

FECHA: 29/09/2020

INFORME N°: 273/02/20

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

NOMBRE: GRAIMAN CIA.LTDA.  
SOLICITADO POR: GRAIMAN  
DIRECCIÓN: HURTADO DE MENDOZA 11 6 PASEO DE LOS CANARIS

**MUESTRA**

CÓDIGO: 273/01-02/20  
DESCRIPCIÓN (Fuente): EFLUENTE DE PROCESO  
PROCEDENCIA (Lugar): GRAIMAN  
FECHA DE RECEPCIÓN: 22/09/2020  
ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: ING. DIEGO BERNAL

**RESULTADOS**

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA P2 273/01/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	22/09/2020	mgCaCO3/l	72
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	22/09/2020	mgCaCO3/l	40
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	22/09/2020 29/09/2020	mg/l	20.3
ALUMINIO	SM 3120 ICP	22/09/2020	ug/l	590.37

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 6 273/02/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	22/09/2020	mgCaCO3/l	12000
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	22/09/2020	mgCaCO3/l	2000
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	22/09/2020 29/09/2020	mg/l	295.7
ALUMINIO	SM 3120 ICP	22/09/2020	ug/l	1009800

Atentamente,

BQF, María José Chérrez T.  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175568	INFORME DE RESULTADOS	Página 1 de 1
--	-----------------------	---------------

FECHA: 30/09/2020

INFORME N°: 278/02/20

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

NOMBRE: GRAIMAN CIA.LTDA.  
SOLICITADO POR: GRAIMAN  
DIRECCIÓN: HURTADO DE MENDOZA 11 6 PASEO DE LOS CANARIS

**MUESTRA**

CÓDIGO: 278/01-02/20  
DESCRIPCIÓN (Fuente): EFLUENTE DE PROCESO  
PROCEDENCIA (Lugar): GRAIMAN  
FECHA DE RECEPCIÓN: 23/09/2020  
ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: ING. DIEGO BERNAL

**RESULTADOS**

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 7 278/01/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	23/09/2020	mgCaCO3/l	23000
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	23/09/2020	mgCaCO3/l	0
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	23/09/2020	mg/l	252.2
ALUMINIO	SM 3120 ICP	23/09/2020	ug/l	222.86

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 8 278/02/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	23/09/2020	mgCaCO3/l	16000
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	23/09/2020	mgCaCO3/l	0
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	23/09/2020	mg/l	165.2
ALUMINIO	SM 3120 ICP	23/09/2020	ug/l	1018710

Atentamente,

  
BQF. María José Chérrez T.  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



<b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175568	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
---	------------------------------	---------------

FECHA: 01/10/2020

INFORME N°: 279/02/20

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

NOMBRE: GRAIMAN CIA.LTDA.  
 SOLICITADO POR: GRAIMAN  
 DIRECCIÓN: HURTADO DE MENDOZA 11 6 PASEO DE LOS CANARIS

**MUESTRA**

CÓDIGO: 279/01-02/20  
 DESCRIPCIÓN (Fuente): EFLUENTE DE PROCESO  
 PROCEDENCIA (Lugar): GRAIMAN  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 24/09/2020  
 ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: ING. DIEGO BERNAL

**RESULTADOS**

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 9 279/01/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	24/09/2020	mgCaCO3/l	30000
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	24/09/2020	mgCaCO3/l	0
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	24/09/2020	mg/l	165.2
ALUMINIO	SM 3120 ICP	24/09/2020	ug/l	899690

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 10 279/02/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	24/09/2020	mgCaCO3/l	20000
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	24/09/2020	mgCaCO3/l	0
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	24/09/2020	mg/l	187
ALUMINIO	SM 3120 ICP	24/09/2020	ug/l	5306.4

Atentamente,

BQF, María José Chérrez T.  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO



- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.  
 - Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175568	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
--	------------------------------	---------------

FECHA: 08/10/2020

INFORME N°: 290/02/20

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

NOMBRE: GRAIMAN CIA.LTDA.  
SOLICITADO POR: GRAIMAN  
DIRECCIÓN: HURTADO DE MENDOZA 11 6 PASEO DE LOS CANARIS

**MUESTRA**

CÓDIGO: 290/01-02/20  
DESCRIPCIÓN (Fuente): EFLUENTE DE PROCESO  
PROCEDECIA (Lugar): GRAIMAN  
FECHA DE RECEPCIÓN: 01/10/2020  
ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: ING. DIEGO BERNAL

**RESULTADOS**

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA P3 290/01/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	01/10/2020	mgCaCO3/l	69.36
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	01/10/2020	mgCaCO3/l	44.8
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	01/10/2020 07/10/2020	mg/l	7.7
ALUMINIO	SM 3120 ICP	01/10/2020 07/10/2020	ug/l	572,77

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 11 290/02/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	01/10/2020	mgCaCO3/l	4896
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	01/10/2020	mgCaCO3/l	0
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	01/10/2020 07/10/2020	mg/l	59.8
ALUMINIO	SM 3120 ICP	01/10/2020 07/10/2020	ug/l	1046760

Atentamente,

BQF. María José Chérrez T.  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

**ETAPA EP**  
Laboratorio de Saneamiento  
Panamericana Norte Km 5,5 Ucubamba  
Teléfono: 4175568

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175568	INFORME DE RESULTADOS	Página 1 de 1
--	-----------------------	---------------

FECHA: 09/10/2020

INFORME N°: 292/02/20

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

NOMBRE GRAIMAN CIA.LTDA.  
SOLICITADO POR: GRAIMAN  
DIRECCIÓN: HURTADO DE MENDOZA 11 6 PASEO DE LOS CANARIS

**MUESTRA**

CÓDIGO: 292/01-02/20  
DESCRIPCIÓN (Fuente): EFLUENTE DE PROCESO  
PROCEDECENCIA (Lugar): GRAIMAN  
FECHA DE RECEPCIÓN: 02/10/2020  
ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: ING. DIEGO BERNAL

**RESULTADOS**

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 12 292/01/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	02/10/2020	mgCaCO3/l	18360
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	02/10/2020	mgCaCO3/l	5100
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	02/10/2020 07/10/2020	mg/l	177.1
ALUMINIO	SM 3120 ICP	02/10/2020 07/10/2020	ug/l	402380

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 13 292/02/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	02/10/2020	mgCaCO3/l	30600
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	02/10/2020	mgCaCO3/l	6120
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	02/10/2020 07/10/2020	mg/l	277.1
ALUMINIO	SM 3120 ICP	02/10/2020 07/10/2020	ug/l	723470

Atentamente,

  
BQF María José Chérrez T.  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175568	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
--	------------------------------	---------------

FECHA: 21/10/2020

INFORME N°: 312/02/20

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

NOMBRE: GRAIMAN CIA.LTDA.  
 SOLICITADO POR: GRAIMAN  
 DIRECCIÓN: HURTADO DE MENDOZA 11 6 PASEO DE LOS CANARIS

**MUESTRA**

CÓDIGO: 312/01-02/20  
 DESCRIPCIÓN (Fuente): EFLUENTE DE PROCESO  
 PROCEDENCIA (Lugar): GRAIMAN  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 14/10/2020  
 ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: ING. DIEGO BERNAL

**RESULTADOS**

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 14 312/01/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	14/10/2020	mgCaCO3/l	2600
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	14/10/2020	mgCaCO3/l	1600
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	14/10/2020 20/10/2020	mg/l	315.6
ALUMINIO	SM 3120 ICP	21/10/2020	ug/l	1276880

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA P4 312/02/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	14/10/2020	mgCaCO3/l	52
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	14/10/2020	mgCaCO3/l	42
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	14/10/2020 20/10/2020	mg/l	8.4
ALUMINIO	SM 3120 ICP	21/10/2020	ug/l	345.07

Atentamente,

BQP: María José Chérrez T.  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

**ETAPA EP**  
 Laboratorio de Saneamiento  
 Panamericana Norte Km 5,5 Ucubamba  
 Teléfono: 4175568

- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175568	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
--	------------------------------	---------------

FECHA: 28/10/2020

INFORME N°: 324/02/20

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

NOMBRE GRAIMAN CIA.LTDA.  
SOLICITADO POR: GRAIMAN  
DIRECCIÓN: HURTADO DE MENDOZA 11 6 PASEO DE LOS CANARIS

MUESTRA  
CÓDIGO: 324/01-02/20  
DESCRIPCIÓN (Fuente): EFLUENTE DE PROCESO  
PROCEDENCIA (Lugar): GRAIMAN  
FECHA DE RECEPCIÓN: 21/10/2020  
ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: SR. JUAN BERNAL

**RESULTADOS**

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 15 324/01/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	21/10/2020	mgCaCO3/l	18000
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	21/10/2020	mgCaCO3/l	3000
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	21/10/2020 28/10/2020	mg/l	180.8
ALUMINIO	SM 3120 ICP	21/10/2020 28/10/2020	ug/l	465080

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA P5 324/02/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	21/10/2020	mgCaCO3/l	58
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	21/10/2020	mgCaCO3/l	34
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	21/10/2020 28/10/2020	mg/l	8
ALUMINIO	SM 3120 ICP	21/10/2020 28/10/2020	ug/l	338.36

Atentamente,

  
BQF María José Chérrez T.  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf: 4175568	INFORME DE RESULTADOS	Página 1 de 1
---	-----------------------	---------------

FECHA: 04/11/2020

INFORME N°: 339/02/20

## DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE

NOMBRE: GRAIMAN CIA.LTDA.  
SOLICITADO POR: GRAIMAN  
DIRECCIÓN: HURTADO DE MENDOZA 11 6 PASEO DE LOS CANARIS

## MUESTRA

CÓDIGO: 339/01-02/20  
DESCRIPCIÓN (Fuente): EFLUENTE DE PROCESO  
PROCEDENCIA (Lugar): GRAIMAN  
FECHA DE RECEPCIÓN: 28/10/2020  
ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: SR. JUAN BERNAL

## RESULTADOS

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 16 339/01/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	28/10/2020	mgCaCO3/l	2700
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	28/10/2020	mgCaCO3/l	0
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	28/10/2020	mg/l	12.4
ALUMINIO	SM 3120 ICP	28/10/2020	ug/l	164230

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA P6 339/02/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	28/10/2020	mgCaCO3/l	60
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	28/10/2020	mgCaCO3/l	38
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	28/10/2020	mg/l	6.7
ALUMINIO	SM 3120 ICP	28/10/2020	ug/l	459.36

Atentamente

  
B.O.F. Maria José Chérrez T.  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175568	INFORME DE RESULTADOS	Página 1 de 1
--	-----------------------	---------------

FECHA: 11/11/2020

INFORME N°: 348/01/20

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

NOMBRE GRAIMAN CIA.LTDA.  
SOLICITADO POR: GRAIMAN  
DIRECCIÓN: HURTADO DE MENDOZA 11 6 PASEO DE LOS CANARIS

**MUESTRA**

CÓDIGO: 348/01/20  
DESCRIPCIÓN (Fuente): EFLUENTE DE PROCESO  
PROCEDENCIA (Lugar): GRAIMAN  
FECHA DE RECEPCIÓN: 04/11/2020  
ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: SR. JUAN BERNAL

**RESULTADOS**

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	MUESTRA 17 348/01/20
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	04/11/2020	mgCaCO3/l	918
DUREZA CALCICA	SM 3500 CA B	04/11/2020	mgCaCO3/l	0
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	10/11/2020	mg/l	291.8
ALUMINIO	SM 3120 ICP	04/11/2020	ug/l	2082025

Atentamente,

  
BQT, María José Chérrez T.  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.



<b>LABORATORIO DE SANEAMIENTO</b> Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175568	<b>INFORME DE RESULTADOS</b>	Página 1 de 1
---	------------------------------	---------------

FECHA: 22/01/2021

INFORME N°: 016/01-03/21

**DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE**

NOMBRE: GRAIMAN CIA LTDA.  
 SOLICITADO POR: GRAIMAN  
 DIRECCIÓN: HURTADO DE MENDOZA 11 6 PASEO DE LOS CANARIS

**MUESTRA**

CÓDIGO: 016/01-03/21  
 DESCRIPCIÓN (Fuente): EFLUENTE DE PROCESO  
 PROCEDENCIA (Lugar): GRAIMAN  
 FECHA DE RECEPCIÓN: 15/01/2021  
 ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: SR. JUAN BERNAL

**RESULTADOS**

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	P7 016/01/21
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	15/01/2021	mgCaCO3/l	77.52
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	15/01/2021	mg/l	27.9
ALUMINIO	SM 3120 ICP	20/01/2021	ug/l	449.68

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	18 016/02/21
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	15/01/2021	mgCaCO3/l	4386
SULFATOS	SM 4500 SO4 E	15/01/2021	mg/l	695.5
ALUMINIO	SM 3120 ICP	20/01/2021	ug/l	2239600

Atentamente,

  
 B. Ch. María José Chérrez T.  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO



- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.