

EVALUACIÓN TÉCNICO-FINANCIERA PARA LA IMPLEMENTACION DE UN
SISTEMA DE NEUTRALIZACION PARA EL TRATAMIENTO DEL LIXIVIADO DE
CARBON EN LA CENTRAL TERMOZIPA

HECTOR EDUARDO ACERO CAMARGO
ORLANDO ANDRES RUBIANO BARRERA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.

2018

EVALUACIÓN TECNICO-FINANCIERA PARA LA IMPLEMENTACION DE UN
SISTEMA DE NEUTRALIZACION PARA EL TRATAMIENTO DEL LIXIVIADO DE
CARBON EN LA CENTRAL TERMOZIPA

HECTOR EDUARDO ACERO CAMARGO
ORLANDO ANDRES RUBIANO BARRERA

Proyecto integral de grado para optar por el título de
ÍNGENIERO QUÍMICO

Director
RUD CRISTINA SALAZAR PALENCIA
Ingeniero químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.

2018

Nota de aceptación:

Ing. Oscar Libardo Lombana
Presidente del Jurado

Ing. Juan Camilo Cely
Jurado 1

Ing. Dany Cárdenas
Jurado 2

Bogotá D.C; Agosto de 2018

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector de claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos humanos

Dr. Luis Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano General Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director de Programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo De Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos:

Agradecemos a Emgesa S.A E.S.P por permitir realizar este proyecto.

Al ingeniero Alfonso Maestre por su apoyo incondicional, tiempo y dedicación.

A la ingeniera Rud Salazar Palencia por su constante apoyo en el proyecto.

Al ingeniero Fredy por su continuo apoyo durante la experimentación y desarrollo del proyecto.

Agradecemos a la Universidad de América por la orientación en el desarrollo del proyecto.

Al Ingeniero Oscar Lombana por sus constantes asesorías.

Al Ingeniero Juan Camilo Cely por su continuo apoyo durante la planeación y desarrollo del proyecto.

A todos aquellos ingenieros y profesores que aportaron su ayuda para la culminación de este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	21
OBJETIVOS	22
1. MARCO DE REFERENCIA	23
1.1 MARCO TEORICO	23
1.1.1 Drenajes de minería	23
1.1.1.1 Características de los drenajes de minería	23
1.1.1.2 Tipos de drenajes de minería	24
1.1.2. Sistemas de control	30
1.1.2.1 Lazos de control abiertos y cerrados	32
1.1.2.2 PLC	33
1.2 MARCO LEGAL	35
2. GENERACION DE AMD EN LA CENTRAL TERMOZIPIA	35
2.1 UBICACIÓN	36
2.2 FUNCIONAMIENTO DE LA CENTRAL TERMOZIPIA	37
2.2.1 Unidad para la generación de energía eléctrica	37
2.2.2 Sistema de agua	40
2.2.2.1 Planta de tratamiento de agua	40
2.2.2.2 Planta desmineralizadora	41
2.2.3 Combustible	42
2.2.3.1 Combustible líquido para caldera	43
2.2.3.2 Combustible sólido para calderas	43
3. DIAGNOSTICO DEL TRATAMIENTO ACTUAL DEL LIXIVIADO DE CARBON CON HIDROXIDO DE SODIO	46
3.1 CARACTERÍSTICAS DEL LIXIVIADO	46
3.1.1 Características Físicas del lixiviado	47
3.1.2 Características químicas del lixiviado	47
3.2 PROBLEMAS DERIVADOS DEL LIXIVIADO DE CARBÓN	48
3.3 TRATAMIENTO ACTUAL CON HIDRÓXIDO DE SODIO (NAOH)	49
3.4 CARACTERIZACIÓN DEL LIXIVIADO DE CARBÓN	51
3.4.1 Factores que alteran las características del lixiviado de carbón	52
3.4.2 Metodología empleada en la caracterización	55
3.4.2.1 Determinación de pH	55
3.4.2.2 Determinación de acidez	56
3.4.2.3 Medición de niveles de precipitación	57
3.4.3 Resultados	58
3.4.4 Análisis de resultados	64

4. EVALUACIÓN TÉCNICA DE DIFERENTES AGENTES NEUTRALIZANTES PARA EL TRATAMIENTO DEL LIXIVIADO DE CARBÓN	66
4.1 SELECCIÓN DE AGENTES NEUTRALIZANTES	66
4.1.1 Criterios de selección	66
4.1.2 Comparación y selección de agentes neutralizantes	69
4.1.3 Características de los agentes neutralizantes seleccionados	71
4.1.3.1 Hidróxido de sodio	71
4.1.3.2 Hidróxido de calcio	72
4.1.3.3 Bicarbonato de sodio	72
4.2 EVALUACIÓN DE AGENTES NEUTRALIZANTES SELECCIONADOS	74
4.2.1 Desarrollo experimental	74
4.2.2 Metodología	74
4.2.2.1 Toma de las muestras de lixiviado de carbón	74
4.2.2.2 Calculo de acidez y pH	74
4.2.2.3 Preparación de las concentraciones de neutralizantes	74
4.2.2.4 Neutralización y cálculo de los volúmenes de dosificación	76
4.3 RESULTADOS	78
4.3.1 Hidróxido de sodio	78
4.3.2 Hidróxido de calcio	80
4.3.3 Bicarbonato de sodio	82
4.3.4 Volúmenes máximos y mínimos de dosificación	84
4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	85
4.4.1 Selección del mejor agente neutralizante	86
5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y CONTROL DEL SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN DEL LIXIVIADO DE CARBÓN	89
5.1 DIAGRAMA DE PROCESO DEL SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN PROPUESTO	89
5.1.1 Descripción del sistema de neutralización	91
5.1.2 Dimensionamiento de equipos para el sistema de neutralización del lixiviado de carbón	91
5.1.2.1 Balance de materia del sistema	91
5.2 DIAGRAMAS DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE NEUTRALIZACION DE LIXIVIADO DE CARBON	99
5.2.1 Diagrama de control e instrumentación (P&ID)	99
5.2.2 Diagrama de control eléctrico	104
5.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS PARA EL SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN	108
6. COSTOS DE IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE NEUTRALIZACION	113
6.1 COSTOS DE INVERSIÓN	113
6.2 COSTOS DE OPERACIÓN	114

6.2.1 Costos de energía	114
6.2.2 Costos de operarios	116
6.2.3 Costos de los reactivos	117
6.2.4 Costos totales de operación	118
6.3 COSTOS TOTALES	118
6.4 RELACIÓN BENEFICIO / COSTO	119
6.4.1 Determinación de beneficios (multa)	119
6.4.2 Determinación de costos (costos de operación)	119
6.4.3 Determinación relación beneficio-costo	120
7. CONCLUSIONES	121
8. RECOMENDACIONES	123
BIBLIOGRAFIA	124
ANEXOS	131

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Caracterización lixiviado septiembre-diciembre 2017	58
Tabla 2. Volúmenes de dosificación límite de NaOH.	84
Tabla 3. Volúmenes de dosificación límite de Cal.	84
Tabla 4. Volúmenes de dosificación límite de NaHCO ₃ .	84
Tabla 5. Dimensiones de los equipos.	98
Tabla 6. Costos de inversión del proyecto.	113
Tabla 7. Costos de energía	115
Tabla 8. Componentes del salario mínimo para el año 2018	116
Tabla 9. Costos del operario calculados para el sistema de neutralización	117
Tabla 10. Costos de reactivos para el pH más bajo 2,07	117
Tabla 11. Costos de reactivos para el pH más alto 2,8	118
Tabla 12. Costos totales de operación anuales.	118
Tabla 13. Costos totales anuales del sistema de neutralización.	118

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Oxidación de la pirita en presencia de oxígeno.	27
Figura 2. Parámetros de un sistema de control	31
Figura 3. Componentes y estructura de un sistema de control	32
Figura 4. Representación gráfica de un lazo de control abierto	32
Figura 5. Representación gráfica de un lazo de control cerrado	33
Figura 6. Representación gráfica de los niveles de un PLC	34
Figura 7. Ubicación de la central Termozipa	36
Figura 8. Unidad de generación de energía	38
Figura 9. Tanque espesador de lodos de 1,60m ³ .	41
Figura 10. Tanque clarificador de 4,20m ³ .	41
Figura 11. Trenes de desmineralización	42
Figura 12. Tanque de almacenamiento de combustible ACPM	43
Figura 13. Estructura para el bombeo de ACPM	43
Figura 14. Patio de carbón de la central Termozipa	44
Figura 15. Vista de un tramo del canal de lixiviado	45
Figura 16. Lixiviado con presencia de sólidos en suspensión	47
Figura 17. Lixiviado de carbón filtrado	47
Figura 18. Vista aérea del canal de cenizas	48
Figura 19. Tanque de dosificación de NaOH	49
Figura 20. Válvula de dosificación	50
Figura 21. Sitio de neutralización, segmento reducido	50
Figura 22. Lixiviado tratado con NaOH al 48%	51
Figura 23. pH metro HI 991001	56
Figura 24. Pluviómetro Acua Rite	58
Figura 25. Procedimiento para encontrar los volúmenes de dosificación	77
Figura 26. Muestra de lixiviado neutralizado con NaOH (48%)	78
Figura 27. Muestra de lixiviado neutralizada con Cal (23,67M)	80
Figura 28. Muestra de lixiviado neutralizada con Bicarbonato de sodio (1M)	82
Figura 29. Diagrama de proceso (PFD) del sistema de neutralización.	90
Figura 30. Volúmenes y caudales del sistema de neutralización	97
Figura 31. Diagrama P&ID del sistema de neutralización propuesto	100
Figura 32. Plano eléctrico para el control del sistema de neutralización	105
Figura 33. Control tanque T-101	106
Figura 34. Control tanque T-102	107

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Categorías de drenajes de mina por White	24
Cuadro 2. Categorías de drenajes de mina según Morin y Hutt	25
Cuadro 3. Normativa relacionada con el proyecto	35
Cuadro 4. Especificaciones técnicas de los equipos para cada unidad	39
Cuadro 5. Dimensiones de los tanques de almacenamiento	40
Cuadro 6. Factores que inciden en las características del lixiviado.	54
Cuadro 7. Características de los agentes neutralizantes utilizados para el tratamiento de AMD	68
Cuadro 8. Valores para cada criterio de la matriz de selección	69
Cuadro 9. Matriz de selección de agentes neutralizantes	70
Cuadro 10. Comparación de costos de neutralización a 200ml y 1000L para cada agente neutralizante	86
Cuadro 11. Símbolos encontrados en el plano eléctrico	104
Cuadro 12. Costos y características de los equipos seleccionados para el sistema de neutralización.	110

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Grafica 1. Correlación pH-acidez, caracterización septiembre-diciembre del 2017	61
Grafica 2. Correlación pH- precipitación, caracterización septiembre-diciembre del 2017	62
Grafica 3. Correlación acidez- precipitación, caracterización septiembre-diciembre del 2017	63
Grafica 4. Curvas de neutralización para el NaOH	79
Grafica 5. Curvas de neutralización para la cal	81
Grafica 6. Curvas de neutralización para el NaHCO ₃	83

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Reacción para la disolución del carbonato cálcico en agua	25
Ecuación 2. Formación del Hidróxido de calcio	29
Ecuación 3. Disociación del Hidróxido de calcio en medio acuoso	29
Ecuación 4. Formación del Hidróxido de hierro (II)	29
Ecuación 5. Formación de hidróxido de hierro por disociación del ion HCO_3^-	29
Ecuación 6. Fórmula para calcular y expresar la acidez en mg CaCO_3/L	57
Ecuación 7. Obtención de hidróxido de sodio	71
Ecuación 8. Formación del ion HCO_3^-	73
Ecuación 9. Obtención de bicarbonato de sodio	73
Ecuación 10. Factor de dilución	75
Ecuación 11. Método Racional	92
Ecuación 12. Balance de materia para T-101.	95
Ecuación 13. Balance de materia para T-102.	96
Ecuación 14. Relación beneficio-costos	119

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Caracterización del carbon utilizado para la generacion de energia en la central Termozipa	132
Anexo B. Datos de pluviometria para el año 2017	132
Anexo C. Concentraciones de agentes neutralizantes seleccionados	145
Anexo D. Datos experimentales de neutralización	147
Anexo E. Calculo del diametro de tuberia con la ecuación de Torricelli	172
Anexo F. Parametros de operación para el tanque agitador	174
Anexo G. Calculo de la potencia consumida del controlador de pH	179
Anexo H. Cotizaciones y especificaciones tecnicas de los equipos del sistema de neutralización	180
Anexo I. Manual del plano eléctrico	196

GLOSARIO

ACIDEZ: término empleado para hacer referencia a sustancias que presentan valores de pH por debajo de 7, debido a la alta cantidad de iones H^+ , Fe^{+2} , Fe^{+3} en el medio.

AGENTE NEUTRALIZANTE: reactivo químico utilizado para estabilizar el pH de un drenaje de minería ácida a un valor de pH requerido por las reglamentaciones ambientales.

ALARMA VISUAL: dispositivo que genera una señal lumínica por medio de la cual se informa sobre la presencia de una variable fuera del rango requerido.

ALCALINIDAD: término empleado para hacer referencia a sustancias con un pH con valores mayores a 7, debido a la alta cantidad de iones CO_3^{+} y HCO_3^{+} .

AMD: indica la abreviatura de "Acid Mine Drainage" (drenaje ácido de minería), que indica todos aquellos residuos de minería líquidos con pH por debajo de 6 debido a la gran cantidad de metales como hierro, cobre plomo entre otros presentes en disolución.

BOBINA: dispositivo eléctrico que mediante su energización permite el cambio de sus contactos asociados.

CLORACIÓN: proceso en el cual se utiliza cloro principalmente como agente desinfectante para tratar aguas residuales.

COEFICIENTE DE ESCORRENTIA: cantidad de precipitación lluviosa que no se infiltra en el suelo.

CONMUTADOR: dispositivo que permite el cambio de corriente eléctrica de un circuito a otro.

CONSIGNA: conocida también como setpoint, o valor deseado, se refiere a la variable de referencia del proceso.

CONTACTOR: interruptor automático que sirve para restablecer los enlaces entre distintos circuitos o aparatos eléctricos.

CONTROL LOCAL: hace referencia a que el control del sistema se encuentra en modo de operación manual.

CONTROLADOR: dispositivo que permite efectuar el cambio de una variable mediante un setpoint.

CURVA DE NEUTRALIZACIÓN: grafica que relaciona el pH, con el volumen de ácido o base. Representa la variación del valor de pH con la cantidad de volumen de ácido/base utilizado.

DQO: abreviatura para demanda química de oxígeno, es un parámetro físico-químico que indica la cantidad de especies en el agua que pueden ser oxidadas, se mide en mgO_2/L .

ELECTROVALVULA: válvula de paso que tiene acoplado un dispositivo eléctrico que permite o restringe el paso de un fluido.

FILTRACIÓN: proceso en el cual se separan partículas por medio de acciones químicas, físicas o biológicas al hacerlas pasar por un medio filtrante.

FILTROS DE ARENA: filtros utilizados para separar partículas con tamaños menores a 20 micras.

FLOCULACIÓN: proceso químico en el que mediante una sustancia floculante se aglutinan las partículas presentes en el medio por afinidad electrónica de estas mismas.

HIDROCICLÓN: equipo de filtración utilizado para separar las partículas sólidas más pesadas que el agua por centrifugación debido al vórtice generado por la inyección de agua en el equipo.

ISOTANQUE: tanque de almacenamiento estandarizado, en el cual todos sus lados tienen las mismas dimensiones.

LITOLOGIA: rama de la geología que estudia las características de las rocas presentes en una formación geológica.

LIXIVIADO DE CARBON: efluente proveniente del patio de carbón y los canales de ceniza que trae consigo una alta cantidad de metales en disolución (Fe^+ , Cu^+) por lo cual presenta un pH menor a 6 y se le considera un drenaje ácido de minería.

LLUVIA ÁCIDA: precipitación lluviosa con valores de pH menores a 7 debido al alto contenido de azufre a causa de la contaminación atmosférica.

LODOS: subproductos del tratamiento de aguas residuales, que presentan características físicas similares a barro o arcillas, tienen propiedades químicas complejas por lo que no se pueden tratar con facilidad.

NaOH: símbolo químico del hidróxido de sodio, compuesto utilizado en el tratamiento de AMD.

NEUTRALIZACION: proceso utilizado en el tratamiento de residuos de minería en el cual un agente neutralizante de carácter básico o ácido se adiciona a un efluente minero para alcanzar un pH neutro o cercano a 7.

RESIDUOS DE MINERIA: son todos aquellos subproductos sólidos, líquidos o gaseosos generados durante las actividades de minería, procesamiento de minerales e industria metalúrgica que no presentan un valor económico apreciable, no son deseados y se acumulan constantemente.

OD: abreviatura utilizada para oxígeno disuelto, es un parámetro químico que indica la cantidad de oxígeno presente en el medio acuoso, se mide en mgO_2/L .

PERTURBACION: señales que interfieren con los valores de salida de la variable de proceso, estas pueden ser internas (cuando se genera dentro del proceso) y externas (cuando inciden fuera del proceso)

pH: valor que indica la cantidad de iones H^+ presentes en una solución utilizado para determinar su nivel de alcalinidad o acidez.

PIRITA: nombre común con el que se conoce el bisulfuro de hierro (FeS_2), el cual es un mineral presente la composición del carbón.

POZOS ANOXICOS: estanques dispuestos para el tratamiento de aguas residuales en los cuales la concentración de oxígeno es baja o nula.

PTAR: abreviatura usada comúnmente en el ámbito de tratamiento de aguas para simplificar el término: planta de tratamiento de aguas residuales.

PULSADOR: dispositivo eléctrico que cuenta con una posición de reposo.

SEDIMENTACIÓN: proceso en el cual, por diferencia de densidad y acción de la gravedad, las partículas presentes en el medio se separan.

SWITCHE: dispositivo eléctrico que cuenta con dos posiciones de reposo (ON/OFF).

TANQUE CLARIFICADOR: compartimiento en el cual se presentan principalmente procesos de sedimentación.

TANQUE ESPESADOR: compartimiento en él se presenta procesos de coagulación y floculación.

TANQUE DE LODOS: compartimientos para almacenar los lodos generados durante los procesos de tratamiento de aguas residuales y adecuarlos para su posterior tratamiento o disposición final.

TANQUES DE AGUA POTABLE: compartimientos para almacenar el agua tratada para el consumo humano.

TEMPORIZADOR: dispositivo eléctrico que permite determinar un tiempo para luego desarrollar una acción mediante el cambio de sus contactos asociados.

THIOBACILLUS FERROXIDANS: bacteria presente en drenajes ácidos de minería (AMD), responsable de la biolixiviación de la pirita generando iones H^+ , Fe^+ acidificando el medio.

VARIABLE DE ENTRADA: variable de un sistema de control en la cual cualquier cambio de su magnitud o condición altera el estado del sistema.

VARIABLE DE SALIDA: variable de un sistema de control que se representa con una señal, a la cual “se le mide” su magnitud y condición al final del proceso; también llamada variable de proceso.

VERTIMIENTO: es la disposición controlada o no de un residuo líquido de origen doméstico, industrial, urbano, agropecuario o minero.

RESUMEN

En el presente proyecto se realizó una propuesta para la implementación de un sistema de neutralización en el tratamiento del lixiviado de carbón; Este lixiviado se genera continuamente por la infiltración de la lluvia a través de las pilas de carbón produciendo un drenaje ácido de minería (AMD) el cual por sus niveles de pH (<6) incumple con los parámetros enunciados en la resolución 631 de 2015 (pH 6-9). La propuesta para solucionar la problemática presentada se desarrolló en 3 etapas.

En la primera etapa, posterior a una caracterización que se realizó del lixiviado de carbón, se realizó un desarrollo experimental evaluando 3 diferentes agentes neutralizantes (hidróxido de calcio, bicarbonato de sodio e hidróxido de sodio) tomando como variables el pH de la muestra del lixiviado y el volumen de dosificación necesario para ajustar el pH a un valor de 7, de esta manera, se determinó cuales reactivos tienen un menor volumen de dosificación, finalmente, se seleccionó el hidróxido de sodio como el mejor agente neutralizante por su bajos volúmenes de dosificación y menores costos para la neutralización del lixiviado de carbón.

En la segunda etapa, se realizó un diagrama de proceso del sistema de neutralización propuesto, a partir de este, se determinaron las especificaciones técnicas de los equipos tales como: volúmenes para los tanques, caudales de operación para las bombas y diámetros para las válvulas, posteriormente se estableció un control preliminar mediante un plano eléctrico para una automatización del sistema de neutralización, por último, se seleccionaron los equipos en base a las especificaciones técnicas establecidas anteriormente y a las características del hidróxido de sodio.

En la tercera etapa, se determinaron los costos totales del proyecto con un valor para el primer año de \$ 222.602.124 pesos colombianos, compuestos por los costos de inversión (valor de los equipos) y los costos de operación, posteriormente, se calculó la relación beneficio-costos como indicador financiero del proyecto, donde se obtuvo un valor de 17, que represento la viabilidad del sistema de neutralización propuesto para el tratamiento del lixiviado de carbón.

Palabras clave. AMD, Lixiviado de carbón, pH, Neutralización, Hidróxido de sodio, Sistema de neutralización.

INTRODUCCION

La Central Termoeléctrica Martín del Corral, también conocida como Termozipa, está situada a 40 kilómetros al norte de Bogotá, consta de cuatro unidades de generación de vapor, las cuales utilizan como combustible primario el carbón, el cual es almacenado en un patio de 5.6 Hectáreas expuesto a la intemperie, donde, por infiltración de las aguas lluvia en el carbón se genera continuamente un lixiviado, que por procesos de oxidación de la pirita (compuesto presente el carbón de fórmula FeS_2 produce iones libres de hierro (Fe^{+2} , Fe^{+3}) que generan acidez en el lixiviado presentando valores de pH menores a 6 por lo que se clasifica como un drenaje ácido de minería (AMD). Este Drenaje ácido de minería se une al canal de cenizas (afluente proveniente del funcionamiento de las unidades de la central) que luego desemboca en el río Bogotá, presentando valores de pH menores a 6, incumpliendo con la resolución 631 de 2015 que establece valores de pH entre 6-9 para este tipo de vertimientos; El incumplimiento de la resolución puede generar multas de hasta 5000 S.M.M.L.V, por ello, actualmente se realiza un tratamiento con hidróxido de sodio como agente neutralizante para ajustar el pH a los valores establecidos por la resolución, sin embargo, no existe un control en la dosificación y en muchas ocasiones se presentan valores de pH por encima de 9 incumpliendo de igual forma con la resolución, por tal razón, en este proyecto se busca dar fin a esta problemática al evaluar otras opciones para neutralizar el lixiviado y proponer un sistema de neutralización para el tratamiento del drenaje ácido de minería de la central Termozipa.

Para el desarrollo del proyecto se realizó la caracterización del lixiviado de carbón en un lapso de tiempo de 3 meses, con el fin de establecer el comportamiento de variables como el pH, la acidez y la precipitación durante el tiempo de estudio; Con la caracterización realizada se llevó a cabo una investigación en la literatura de los agentes neutralizantes utilizados para tratar AMD, se seleccionaron 3 de estos agentes y se realizó un desarrollo experimental donde se tuvieron en cuenta las variables de pH y volumen de dosificación para seleccionar el más adecuado para el tratamiento del lixiviado de carbón; Con el agente neutralizante seleccionado, se desarrolló la propuesta de un sistema de neutralización a través del dimensionamiento de equipos, lazos de control del sistema y automatización del mismo; Finalmente se determinaron los costos totales y la relación beneficio costo del proyecto.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación técnico-financiera para la implementación de un sistema de neutralización del lixiviado de carbón generado en la central Termozipa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar el proceso actual en el tratamiento de neutralización del lixiviado de carbón en la central Termozipa.
2. Seleccionar el agente neutralizante para el sistema de neutralización mediante un desarrollo experimental a nivel laboratorio.
3. Establecer las especificaciones técnicas del sistema de neutralización según el agente neutralizante seleccionado.
4. Determinar los costos de implementación del sistema de neutralización según las especificaciones técnicas establecidas.

1. MARCO DE REFERENCIA

Las aguas de drenaje ácido de minería (AMD) generadas en la central Termozipa, representan un riesgo para el ecosistema del río Bogotá, debido a que estos vertimientos presentan valores de pH menores a 6, además, al no tratar este tipo de vertimiento la central se expone a multas de hasta 5000 S.M.M.L.V, por lo cual, se requiere de un tratamiento de neutralización lo más eficiente posible para que el vertimiento presente valores de pH entre 6-9 como lo exige la Resolución 631 de 2015; A continuación, se explican los conceptos de drenajes de minería para entender la problemática actual y de sistemas de control para comprender la automatización de un sistema de neutralización para el drenaje ácido de minería generado en la central.

1.1 MARCO TEORICO

1.1.1 Drenajes de minería. Las aguas de residuos de minería o drenajes de minería corresponden a todos aquellos subproductos no deseados de la extracción de minerales y procesamiento de metales; estos constituyen una de las mayores fuentes de contaminación de aguas superficiales y subterráneas, generalmente, presentan un nivel de pH menor a 6 o por encima de 9, ocasionando un alto impacto en el ecosistema, en los seres humanos y en las estructuras debido a su carácter corrosivo.

1.1.1.1 Características de los drenajes de minería. Las aguas de residuos de minería presentan varios aspectos que las diferencian de otros tipos de aguas residuales¹:

- Poseen una alta concentración de especies alcalinas (CO_3^{2-}) o ácidas (Fe^{+2} , Cu^+ , entre otros) dependiendo del tipo de producción minera
- Tienen una alta cantidad de sólidos disueltos, que representan la cantidad de especies ácidas y alcalinas que no se precipitan
- Generalmente no cumplen con las normas o estándares para su vertimiento.

¹ ADUVIRE, Osvaldo, drenaje ácido de mina, Instituto Geológico y Minero de España, Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente, Madrid, 2006, p. 5

1.1.1.2 Tipos de drenajes de minería. Parámetros como el pH, el contenido de oxígeno (OD), la temperatura, la cantidad de iones de hierro, la acidez, la alcalinidad determinan que tipo de drenaje de mina se está generando en una explotación minera, sin embargo, varios autores simplificaron los diferentes tipos de drenajes de mina tomando como referencia los valores de pH que presente cada drenaje de minería.

La siguiente es una clasificación de drenajes de minería en función al pH establecida en 1968 por White donde se observan 6 categorías² :

Cuadro 1. Categorías de drenajes de mina por White

CLASE	pH
Altamente ácidas	1,5 a 4,5
Blandas, ligeramente ácidas	5,0 a 7,0
Duras, neutras a alcalinas	7,0 a 8,5
Blandas, alcalinas	7,5 a 11,0
Muy salinas	6,0 a 9,0
Blandas ácidas	3,5 a 5,5

Fuente: Kim JT, Kim SJ. Environmental, mineralogical, and genetic characterization of ochreous and white precipitates from acid mine drainages in Taebaeg, Korea. Mayo, 2003, p.3

² KIM, J.J. Y KIM, S.J. Environmental, mineralogical, and genetic characterization of ochreous and white precipitates from acid mine drainages in Taebaeg, Korea,2003, p. 5

Más adelante en 2001 Morin y Hutt hacen una clasificación más detallada teniendo en cuenta el origen del drenaje de minería³:

Cuadro 2. Categorías de drenajes de mina según Morin y Hutt

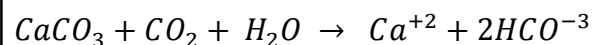
CLASE	pH	DESCRIPCIÓN
Acido	< 6	<ul style="list-style-type: none"> - Acidez generada por oxidación de minerales, particularmente de sulfuros. - Nivel de metales disueltos es mayor que en drenajes casi neutros. - Asociado a minas metálicas, carbón y piritas.
Alcalino	> 9 ó 10	<ul style="list-style-type: none"> - Alta alcalinidad generada por disolución de minerales básicos, particularmente óxidos, hidróxidos y algunos silicatos. - Niveles de algunos metales como el Al son mayores que en los drenajes casi neutros. - Asociado con minería de diamantes, molienda de bauxita, cenizas de combustión de carbón.
Casi neutro	6 – 9 ó 10	<ul style="list-style-type: none"> - Dependiendo de la abundancia de los minerales, en determinados periodos pueden ser ácidos o alcalinos. - Concentración de metales disueltos algunas veces puede exceder niveles tóxicos.
Otros	Irrelevante	<ul style="list-style-type: none"> - Puede afectar la concentración de metales. - Asociado a minería no metálica como: potasa, sales, boratos, bentonitas, gravas, arcillas, etc.

Fuente: Aduvire Osvaldo, Drenaje acido de mina, Instituto Geológico y Minero de España, Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente, Madrid, 2006, p.3

Según esta clasificación los sitios de extracción de carbón y generación de energía presentan dos tipos de drenaje de minería que representan un impacto ambiental⁴ estos son los drenajes de minería alcalinos y drenajes de minería ácidos.

Drenajes alcalinos de minería: las aguas alcalinas en las explotaciones mineras se producen cuando las filtraciones desde superficie o desde acuíferos adyacentes circulan a través de materiales calizos y dolomíticos. La disolución del carbonato cálcico tiene lugar debido a la presencia de anhídrido carbónico en el agua y da lugar a la siguiente reacción:

Ecuación 1. Reacción para la disolución del carbonato cálcico en agua⁵



El contenido en ion bicarbonato en las aguas es el que marca la alcalinidad de éstas, aunque no es frecuente, las aguas alcalinas en algunos casos pueden ser tan

³ ADUVIRE, Op.cit., p. 3.

⁴MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Republica de Colombia, resolución 631 de 2015, p.7

⁵ ADUVIRE. Op.cit., p. 3

dañinas como las aguas ácidas. Los materiales rocosos recién excavados dan lugar a una mayor aportación de contaminantes que los terrenos de igual litología que no han sufrido alteración, ya que las superficies libres presentan mayor erosión. Algunas aguas alcalinas contienen altas concentraciones de hierro ferroso, que tras su oxidación e hidrólisis pueden llegar a cambiar el drenaje al tipo ácido. Estos tipos de descargas son más comunes en minas subterráneas que en las de cielo abierto⁶.

Drenajes ácidos de minería: los drenajes ácidos de minas son todos aquellos afluentes que poseen valores de pH por debajo de 6, esto se debe principalmente a la disolución de diferentes minerales en el agua, producto de un proceso de lixiviación, presentado por el contacto del agua con el mineral y catalizado por diferentes factores como los son: temperatura, oxígeno, presencia de bacterias y sales.

El carbón independiente del tipo al que pertenezca (Turba, lignito o bituminoso, hulla y antracita), tiene en su composición de 3%-5% pirita⁷; La pirita (Fe_2S) representa la mayor cantidad de azufre en el carbón, además, posee un alto contenido del hierro presente en este mismo. En la central Termozipa continuamente se está generando drenaje ácido de minería producido por las reacciones de oxidación de la pirita presente en el carbón. El mecanismo de reacción (Figura 1) es el siguiente: el agua proveniente de la infiltración de la lluvia en las pilas de carbón entra en contacto con el carbón reaccionando con la pirita (Fe_2S) en presencia de oxígeno, generando los iones $(\text{SO}_4)^{-2}$, Fe^{+2} y H^+ en [1] ([1a] es una reacción paralela con los mismos productos de [1]), posteriormente en [3] (reacción lenta debido a una baja acidez del medio⁸) el ion Fe^{+2} se oxida a Fe^{+3} en presencia de oxígeno, este último en presencia de agua forma un equilibrio en [4] donde los productos de la reacción son $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y H^+ , paralelamente a [3] y [4], en la reacción [2] el ion Fe^{+3} reacciona con la pirita produciendo continuamente iones $(\text{SO}_4)^{-2}$, Fe^{+2} y H^+ (reacción rápida debido al bajo pH del medio y la alta actividad de *Thiobacillus ferrooxidans*⁹).

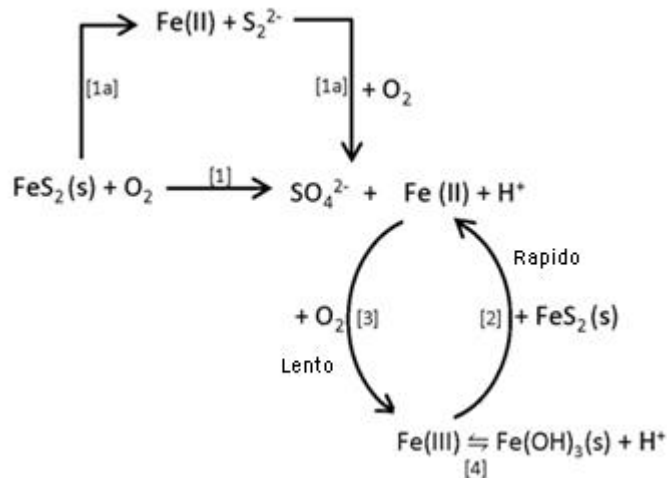
⁶ *Ibid.*, p. 6

⁷ VIDAL, Aramburú, Disminución del contenido de azufre en carbón mineral, mediante procesos metalúrgicos para uso industrial, vol. 10, 2007 p. 1

⁸ *Ibid.*, p. 9

⁹ NORDSTROM, D. KIRK, Chapter 11. effects of microbiological and geochemical interactions in mine drainage, p. 227

Figura 1. Oxidación de la pirita en presencia de oxígeno.



Fuente: Global Acid Rock Drainage (GARD) Guide, disponible en <http://www.gardguide.com/index.php?title=Resumen>, consultado el 19 de julio de 2018

La reacción [2] seguirá presentándose en el medio hasta la completa acidificación del medio, es decir, al alcanzar un pH menor a $2,5^{10}$ donde la actividad de *Thiobacillus ferrooxidans* alcanzara su valor óptimo.

- **Tratamiento de drenajes ácidos de minería:** actualmente se utilizan dos tipos de tratamientos para ajustar las características de los drenajes ácidos de mina a los requerimientos ambientales exigidos por las normas de cada país, los tratamientos pasivos y tratamientos activos.
- **Tratamientos pasivos:** consisten en la construcción de sistemas de tratamiento con uso de procesos químicos como lechos de cal o biológicos como humedales¹¹, que empleen poca cantidad de energía, sean de bajo costo y no

¹⁰ ADUVIRE. Op.cit., p. 11.

¹¹ DIAZ, Acero, Tratamiento de agua residual a través de humedales, Universidad Santo Tomas, 2014 p. 2

requieran de un mantenimiento continuo. Generalmente se emplea el uso de microorganismos para catalizar las reacciones de oxidación y precipitación de carbonatos para tratar el drenaje. requieren de un tiempo de adecuación prolongado según sea el caso y su uso no se encuentra extendido debido a que representan una alta inversión y sus resultados no son inmediatos¹².

- **Tratamientos activos:** los tratamientos activos son los más extendidos en cuanto a su implementación en minas cuya extracción es continua y se encuentran en servicio, a diferencia de los tratamientos pasivos se utiliza un agente químico para ajustar las características del afluente de minería, ya sea oxidando las especies presentes, produciendo precipitados o aumentando la carga de iones para estabilizar el pH y otras características. En los tratamientos activos se requiere de una operación continua, un consumo de energía y un alto capital para mantener el sistema en funcionamiento a largo plazo¹³. Comúnmente lo que se busca con este tipo de tratamientos es lograr una acción inmediata sobre el agua residual de minería, con la adición de reactivos neutralizantes para precipitar las especies que generan acidez y ajustar los valores de pH según lo requerido por la norma vigente.
- **Agentes neutralizantes utilizados en tratamientos activos:** existen múltiples agentes químicos usados como neutralizantes en aguas ácidas de minería, tales como: la piedra caliza, el hidróxido de calcio, el bicarbonato de sodio, el carbonato de calcio y el amoníaco¹⁴.
- **Cal / cal hidratada:** la cal (óxido de calcio) y cal hidratada (hidróxido de calcio) presentan características similares en cuanto a su composición química. Debido a su bajo costo, disponibilidad y rendimiento la cal es el agente neutralizante más ampliamente usado para tratar drenajes ácidos¹⁵, La reacción de neutralización con el lixiviado de carbón se describe en las ecuaciones 2,3 y 4 mostradas a continuación:

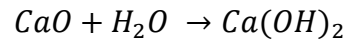
¹² ADUVIRE. Op.cit., p. 92

¹³ *Ibid.*, p. 80

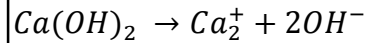
¹⁴ SALAZAR Giraldo, Alternativas de tratamientos de las aguas de los drenajes ácidos de minas: una revisión, capítulo 19, 2012, p. 354

¹⁵ *Ibid.*, p. 355

Ecuación 2. Formación del Hidróxido de calcio



Ecuación 3. Disociación del Hidróxido de calcio en medio acuoso

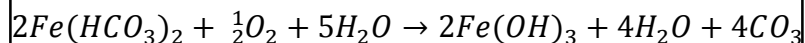


Ecuación 4. Formación del Hidróxido de hierro (II)



- Hidróxido de sodio (NaOH): el hidróxido de sodio junto con la cal pertenece al grupo de los neutralizantes más utilizados para el tratamiento de drenajes ácidos de minería¹⁶. La reacción de disociación es similar a la de la cal, presenta tiempos de reacción menores a 3 min¹⁷ y genera una menor cantidad de precipitados en comparación a los demás neutralizantes mencionados¹⁸. Las principales desventajas son su alto costo y los riesgos en su uso y manipulación.
- Bicarbonato de sodio (NaHCO₃): el bicarbonato de sodio es usado en sistemas de tratamiento activo en menor medida¹⁹, este se disocia en el medio en iones Na⁺ y HCO⁻³, proceso que aumenta la alcalinidad del medio por la formación de hidróxidos (Ecuación 5), evitando la oxidación del hierro y los metales presentes. Como ventajas: presenta su bajo costo, alta disponibilidad y baja formación de lodos, como desventajas: los altos volúmenes de dosificación y la poca información relacionada a su uso como agente neutralizante.

Ecuación 5. Formación de hidróxido de hierro por disociación del ion HCO⁻³



- Carbonato de calcio (CaCO₃): el carbonato de calcio hace parte de la composición de la piedra caliza y actúa como neutralizante, se utiliza

¹⁶ MORIN, K. Y HUTT, Relocation of net-acid-generating waste to improve post-mining water chemistry, Vol 20, p. 185

¹⁷ VIDAL. Op.cit., p.2

¹⁸ D. TRUMM, Selection of active treatment systems for acid mine drainage, Vol 10. 2010 p. 1

¹⁹ GARCIA, Efrén, Diseño de un sistema de tratamiento para el control de drenaje ácido dentro de una mina, Universidad Nacional de México, 2016, p. 47

ampliamente para tratamientos activos aunque no se encuentra tan aceptable su uso debido a los altos costos de operación en minas a cielo abierto²⁰, presenta bajos costos y alta eficiencia en la neutralización.

- Amoníaco (NH_3): el amoníaco presenta características de neutralización similares a las del hidróxido de sodio. El amoníaco en forma gaseosa reacciona con el agua disociándose en iones H^+ y OH^- , generando precipitados con los iones metálicos en el medio en forma de hidróxidos. Como ventajas está su alta eficiencia en la neutralización, como desventajas su alto costo e impactos colaterales al medio ambiente²¹
- Hidróxido de magnesio (MgO , $\text{Mg}(\text{OH})_2$): presenta características de neutralización similares al hidróxido de calcio. Tiene una menor eficiencia de neutralización y requiere de agitación continua, no presenta mayores riesgos en su uso y manipulación²².

1.1.2. Sistemas de control. Un sistema es principalmente la combinación de componentes que actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo²³. Un sistema de control (figura 2) es básicamente un conjunto de elementos que recibe órdenes o acciones externas que se definen como variables de entrada, y cuya respuesta a estas acciones externas son las denominadas variables de salida que permiten regular otro sistema o proceso²⁴.

Las variables de entrada se dividen en dos grupos:

- Variables de control: son aquellas variables en las que es posible tener un control²⁵
- Perturbaciones: son aquellas variables externas al sistema de control que no son posibles de manipular y afectan a las variables controladas²⁶.

²⁰ NEMEROW Leonard, Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos, Ed Díaz de Santos, 1998. p. 648

²¹ D.TRUMM. Op.cit., p. 6

²² D.TRUMM. Op.cit., p. 9

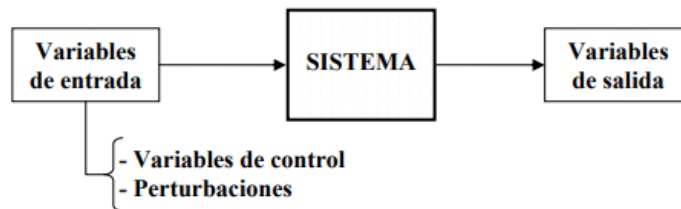
²³ ROMAN, Cesar, Sistemas de control ,capítulo 2, p. 5

²⁴ ANGULO, Cecilio , Tecnología de sistemas de control, p. 31

²⁵ ROMAN. Op.cit., p. 3

²⁶ RODRIGUEZ, Luis ,Conceptos básicos y tecnología de control, 2003, p. 3

Figura 2. Parámetros de un sistema de control



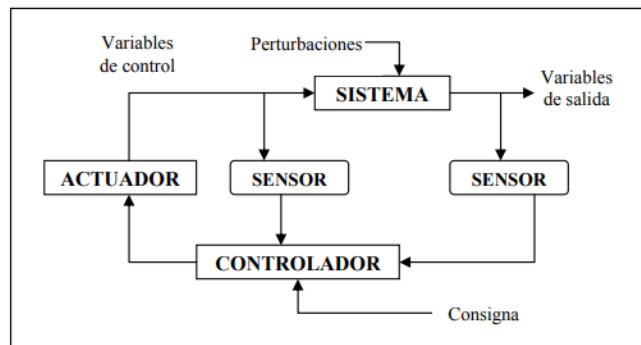
Fuente: Angulo Cecilio, Raya Cristóbal, Tecnología de sistemas de control, edicions UPC, 2004, p. 31

Un sistema de control (figura 3) tiene como objetivo manipular las variables de control, para tener dominio sobre las variables de salida con el fin de conseguir que estas obtengan unos valores prefijados, esto es posible mediante el uso de los siguientes elementos básicos:

- Elementos primarios o sensores: permiten conocer los valores de las variables a manipular y manipuladas verificando el éxito del control del proceso, su señal puede ser analógica o digital²⁷
- Controlador: toma los valores determinados por el elemento primario, calcula el error y manipula el actuador con el fin de mantener a la variable de control en un predeterminado valor.
- Actuador: es el dispositivo que realiza una acción calculada por el controlador.
- Consigna: punto en el que se establece la señal para el controlador

²⁷AREN Y Ramón , sensores acondicionadores de señal 4ª edición,2003, p. 2

Figura 3. Componentes y estructura de un sistema de control



Fuente: Mario Pérez, Analía Hidalgo, introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo, Universidad Nacional de San Juan, 2008, p. 2

1.1.2.1 Lazos de control abiertos y cerrados. En un sistema de control se definen los lazos de control abiertos y cerrados.

- **Lazo de control abierto:**

Figura 4. Representación gráfica de un lazo de control abierto



Fuente: Mario Pérez, Analía Hidalgo, introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo, Universidad Nacional de San Juan, 2008, p. 3

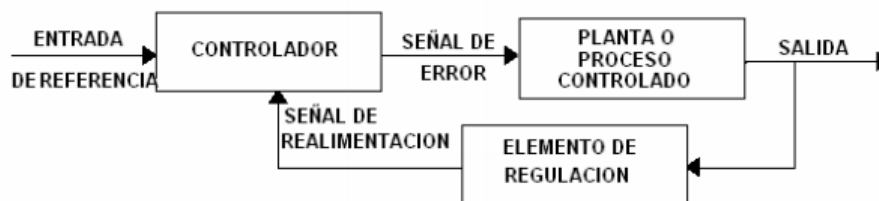
Un sistema de control de lazo abierto (figura 4) se puede dividir en dos partes: el proceso controlado, que varía dependiendo la industria, y el controlador que puede ser un micro procesador, amplificador, etc.²⁸

²⁸ PEREZ, Mario, introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo, p. 10

En un sistema de control de lazo abierto la señal de referencia es dirigida al controlador el cual envía una señal de control hacia el proceso controlado efectuando así un cambio en este, de tal forma que la variable de salida se desempeña respecto a estándares establecidos, así, la exactitud del sistema depende de establecer una relación entre la salida y la entrada (calibración).²⁹

- **Lazo de control cerrado:** también conocidos como sistemas de control realimentados, se da cuando la señal de salida proveniente del elemento primario es enviada hacia el controlador este compara la señal de entrada de referencia con la de salida y efectúa un cambio en el proceso controlado mediante la ejecución de un actuador con el fin de obtener a la salida un valor deseado³⁰

Figura 5. Representación gráfica de un lazo de control cerrado



Fuente: Mario Pérez, Analía hidalgo, introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo, Universidad nacional de San Juan, 2008, p. 4

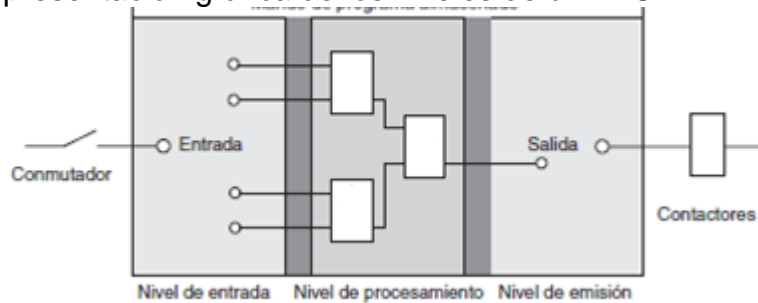
1.1.2.2 PLC. El PLC (Control lógico programable) es un equipo electrónico digital que consta de una memoria programable que almacena instrucciones para luego ejecutarlas y así controlar procesos y maquinas. El PLC puede almacenar funciones temporales, lógicas, secuenciales, aritméticas entre otras, reproduciéndolas de manera cíclica.³¹ Un PLC consta de tres niveles (figura 6):

²⁹ *Ibíd.*, p. 11

³⁰ OGATA, Katsuhiko, Ingeniería de control moderna, capítulo 1, p. 8

³¹ MICROMECHANICA S.A.I.C, Automatización ,Curso 061 Controlador lógico programable (PLC), p. 24

Figura 6. Representación gráfica de los niveles de un PLC



Fuente: Automatización micromecánica S.A.I.C., Curso 061 Controlador lógico programable (PLC), p. 24

- Nivel de entradas: tiene el objetivo de transmitir señales de control proveniente de los elementos de entrada los cuales pueden ser sensores, interruptores entre otros; estas señales se transmiten hacia las entradas del PLC³²
- Nivel de procesamiento: las señales provenientes del nivel de entradas son procesadas y lógicamente enlazadas al nivel de procesamiento a través de un PLC el cual es estructurado en un principio para la ejecución de ciertas actividades en el momento de recibir la señales de entrada y así realizar cambios en el proceso y emitir señales de salida requeridas.³³
- Nivel de emisión: los resultados producidos en el nivel de procesamiento permiten el cambio de estado de contactos que permiten ya sea la activación o desactivación de lámparas, motores, válvulas o cualquier elemento de salida.

³² MITSUBISHI ELECTRIC, FX series manual de instrucciones, p. 17

³³ *Ibíd.*, p. 18

1.2 MARCO LEGAL

A continuación, se enuncian las diferentes normativas que están involucradas directa o indirectamente con el proyecto, se muestra en una breve descripción la relación de cada una con la generación del lixiviado de carbón.

Cuadro 3. Normativa relacionada con el proyecto³⁴

NORMA	EXPEDIDA POR	DESCRIPCION
Resolución 631 de 2015	Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible	Establece los valores permitidos para diferentes parámetros de los vertimientos al Rio Bogotá generados por la central Termozipa
Decreto 3930 de 2010	Ministerio de ambiente y vivienda y desarrollo territorial	Regula de forma general el uso que se le da al agua incluyendo vertimientos como el lixiviado de carbón.
Decreto 2570 de 2006	Ministerio de ambiente y vivienda y desarrollo territorial	Establece las disposiciones generales para la acreditación de los laboratorios ante el IDEAM
RAS 2000	Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico	Establece parámetros y métodos para el diseño, operación y mantenimiento de los sistemas de aguas
ley 1333 de 2003	Ministerio de ambiente y vivienda y desarrollo territorial	Se establece las sanciones a quienes inflijan los parámetros enunciados en la resolución 631 de 2015

Fuente: elaboración propia

³⁴ MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Op.cit., p. 1

2. GENERACION DE AMD EN LA CENTRAL TERMOZIPIA

La central Termoeléctrica Martín del Corral, también conocida como Termozipa, está situada a 40 kilómetros al norte de Bogotá, consta de cuatro unidades de generación de vapor, las cuales utilizan como combustible primario el carbón, el cual es almacenado en un patio de 5.6 Hectáreas expuesto a la intemperie, donde, por infiltración de las aguas lluvia en el carbón se genera continuamente un lixiviado de carbón, posteriormente, este lixiviado de carbón se une al canal de cenizas que desemboca finalmente en el río Bogotá, donde se presentan valores de pH por debajo de 6 de no realizarse un tratamiento previo. Este lixiviado de carbón se clasifica como un drenaje ácido de minería e incumple con los parámetros enunciados para este tipo de vertimientos por la resolución 631 de 2015.

A continuación, se explicará de forma global el funcionamiento de la central para comprender el contexto en el que se genera el drenaje ácido de minería

2.1 UBICACIÓN

Figura 7. Ubicación de la central Termozipa



Fuente: Google Maps, disponible en:

<<https://www.google.com.co/maps/place/Termozipa/@4.9625312,-73.9449551,15z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0xcb1bf7b4ef72cdb1!8m2!3d4.9705613!4d-73.9471709>>, consultado el 20 de Julio de 2018

La central Termoeléctrica Martín del corral, también conocida como Termozipa, es actualmente operada por EMGESA S.A E.S. P y está situada a 40 kilómetros al norte de Bogotá sobre la margen izquierda del río del mismo nombre (Figura 7), cerca del municipio de Tocancipa.

2.2 FUNCIONAMIENTO DE LA CENTRAL TERMOZIPIA

Actualmente para la generación de energía eléctrica se utilizan los siguientes combustibles: ACPM, utilizado para el encendido y calentamiento de la caldera y carbón, utilizado como combustible primario. La capacidad de la central es de 235,5 MW distribuida de la siguiente manera: La unidad 2 cuenta con 37,5 MW, las unidades 3 y 5 cada una con 63 MW, y la unidad 4 con 64 MW³⁵.

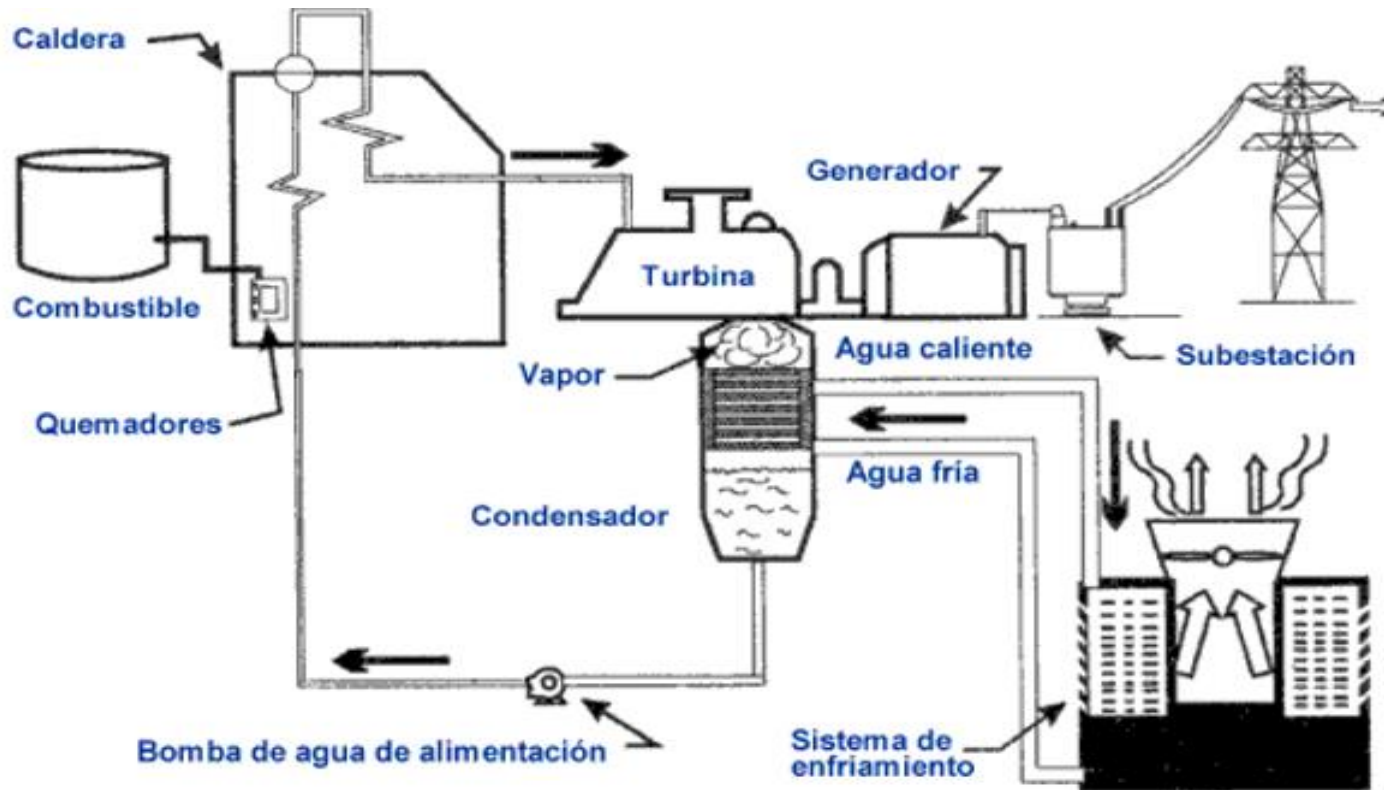
La central toma agua del río Bogotá la cual pasa por la planta de tratamiento, para la remoción de sólidos en suspensión, posteriormente pasa por la planta desmineralizadora, para remover los minerales presentes en el agua, esta agua será usada en la caldera para la producción de vapor que tiene como objetivo realizar el movimiento de los alabes de la turbina que se encuentra acoplada al generador y así producir energía eléctrica.

Unidad para la generación de energía eléctrica. Se nombra unidad a cada sistema de generación eléctrica establecido por una caldera, turbina condensador y generador, esto se ha hecho con el criterio de tener una planta independiente, es decir, que cada caldera y cada turbogenerador opera de manera independiente, sin tener ninguna interconexión de sus sistemas principales de vapor y agua de alimentación. En la Figura 8 se observa como está constituida una unidad de generación eléctrica.

En el cuadro 4 se realiza una descripción de las especificaciones de los equipos que conforman cada una de las unidades de generación de energía eléctrica pertenecientes a la central Termozipa.

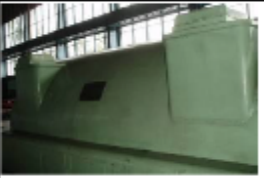



³⁵ ITEC, Análisis de Riesgos y Plan de Contingencia para la Central Termozipa de Emgesa S.A. E.S.P, p. 3-1

Figura 8. Unidad de generación de energía



Fuente: ITEC, Análisis de Riesgos y Plan de Contingencia para la central Termozipa de Emgesa S.A. E.S.P,



Cuadro 4. Especificaciones técnicas de los equipos para cada unidad

Equipo	Unidad 2	Unidad 3	Unidad 4	Unidad 5	Imagen
Generador	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: GENERAL ELECTRIC. Generación máxima: 37,5 MW. Eficiencia: 98,37%. Frecuencia: 60 Hz. Voltaje nominal: 13,8 Kv. Voltaje excitatriz: 250 V. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: HITACHI. Generación máxima: 66 MW. Eficiencia: 98,1%. Frecuencia: 60 Hz. Voltaje nominal: 13,8 Kv. Voltaje excitatriz: 375 V. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: HITACHI. Generación máxima: 66 MW. Eficiencia: 98,1%. Frecuencia: 60 Hz. Voltaje nominal: 13,8 Kv. Voltaje excitatriz: 330 V. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: HITACHI. Generación máxima: 66 MW. Eficiencia: 98,1%. Frecuencia: 60 Hz. Voltaje nominal: 13,8 Kv. Voltaje excitatriz: 330 V. 	
Turbina	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: GENERAL ELECTRIC. Impulso: presión de vapor 59,8 kg/cm². rpm: 3600. Potencia en el eje: 37,5 MW. Temperatura de vapor: 482,2°C. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: HITACHI. Impulso: presión de vapor 87,9 kg/cm². rpm: 3600. Potencia en el eje: 66 MW. Temperatura de vapor: 510°C. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: HITACHI. Impulso: presión de vapor 87,9 kg/cm². rpm: 3600. Potencia en el eje: 66 MW. Temperatura de vapor: 510°C. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: HITACHI. Impulso: presión de vapor 87,9 kg/cm². rpm: 3600. Potencia en el eje: 66 MW. Temperatura de vapor: 510°C. 	
Caldera	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: FOSTER WHEELER. Presión: 71,7 kg/cm². Eficiencia: 86%. Temperatura vapor: 482,2°C. Flujo de vapor: 155,6 ton/hr. Flujo de aire: 188 ton/hr. Volumen: 3,424 m³. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: DISTAL. Presión: 105,6 kg/cm². Eficiencia: 86%. Temperatura vapor: 510°C. Flujo de vapor: 276 ton/hr. Flujo de aire: 315 ton/hr. Volumen: 5,253 m³. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: DISTAL. Presión: 105,6 kg/cm². Eficiencia: 86%. Temperatura vapor: 510°C. Flujo de vapor: 276 ton/hr. Flujo de aire: 315 ton/hr. Volumen: 5,253 m³. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: DISTAL. Presión: 105,6 kg/cm². Eficiencia: 86%. Temperatura vapor: 510°C. Flujo de vapor: 276 ton/hr. Flujo de aire: 315 ton/hr. Volumen: 5,253 m³. 	
Condensador	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: HITACHI. Vapor condensado: 192047 kg/hr. Temperatura agua de circulación: 20°C. Flujo de agua de circulación: 2,39 m³/seg. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: HITACHI. Vapor condensado: 192047 kg/hr. Temperatura agua de circulación: 20°C. Flujo de agua de circulación: 2,39 m³/seg. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: HITACHI. Vapor condensado: 192047 kg/hr. Temperatura agua de circulación: 20°C. Flujo de agua de circulación: 2,39 m³/seg. 	<ul style="list-style-type: none"> Fabricado: HITACHI. Vapor condensado: 192047 kg/hr. Temperatura agua de circulación: 20°C. Flujo de agua de circulación: 2,39 m³/seg. 	

Fuente: ITEC, Análisis de Riesgos y Plan de Contingencia para la central Termozipa de Emgesa S.A. E.S.P,

2.2.2 Sistema de agua. La central se abastece de agua del río Bogotá y en caso de ser insuficiente el volumen de agua requerido se abastece de la planta de tratamiento de Tibitoc. El agua captada se dirige hacia la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), una vez realizado el tratamiento, una parte del volumen de agua tratada se dirige hacia la planta desmineralizadora y la otra parte hacia los tanques de almacenamiento de agua potable, el tanque 1 y tanque 2³⁶.

Cuadro 5. Dimensiones de los tanques de almacenamiento

Equipo	Capacidad	Diámetro	Altura	Imagen
Tanque 1	145000 galones	10m	7m	
Tanque 2	400000 galones	14m	11m	

Fuente: elaboración propia

2.2.2.1 Planta de tratamiento de agua. Esta planta es utilizada para tratar el agua que llega del río Bogotá. En el proceso el agua es sometida a procesos de mezcla rápida tipo hidrociclón, de floculación, sedimentación, filtración y cloración, las cuales son las etapas de la planta de tratamiento de agua potable, que a su vez consta de un tanque clarificador, tanque espesador de lodos, filtros de arena, tanque de lodos, tanques de agua potable, caseta con coagulantes, floculantes, desinfectantes y tuberías de conducción del agua. Esta caseta presenta un sistema estructural de pórticos en concreto y muros en mampostería.

³⁶ Ibid., p. 3-5

De igual forma requiere el aporte de agua del Rio Bogotá y de la planta de tratamiento de Tibitoc para el ciclo de enfriamiento de diferentes sistemas de la central y funcionamiento de varios sistemas mecánicos.

Figura 9. Tanque espesador de lodos de 1,60m³.



Fuente: Emgesa S.A E.S.P

Figura 10. Tanque clarificador de 4,20m³.



Fuente: Emgesa S.A E.S.P

2.2.2.2 Planta desmineralizadora. La planta desmineralizada se encarga de producir agua destilada que será usada como alimentación para las calderas y producción de vapor. Esta planta se encuentra ubicada adyacente a la planta de tratamiento de agua potable.

La planta desmineralizadora cuenta con 12 trenes de desmineralización y sus respectivos tanques cada uno con una capacidad de 25 galones. El proceso de intercambio de iones permite remover los minerales disueltos en el agua.

Figura 11. Trenes de desmineralización



Fuente: Emgesa S.A E.S.P

Durante el proceso de desmineralización se emplea ácido sulfúrico (H_2SO_4), zeolita e hidróxido de sodio (NaOH) al 48% como resinas de intercambio catiónico y anionico con el fin de retirar las sales disueltas en el agua para su posterior uso en el funcionamiento de la unidad.

El agua producto de la etapa desmineralizadora es contenida en el tanque de agua para condensado la cual cuenta con 4 tanques cada uno perteneciente a cada unidad, para las unidades 3, 4 y 5 cada uno tiene una capacidad de 88.000 galones, para la unidad 2 tiene una capacidad de 35.000 galones³⁷.

2.2.3 Combustible. Para la generación de energía se requiere de combustible para los ciclos de funcionamiento de cada unidad, en la central se usa tanto combustible líquido como solido

³⁷Ibid., p. 3-6

2.2.3.1 Combustible líquido para caldera. El ACPM es usado en la central para el encendido de caldera, es almacenado en un tanque con una capacidad de 80.000 galones³⁸.

Figura 12. Tanque de almacenamiento de combustible ACPM



Fuente: Emgesa S.A E.S.P

El sistema que bombea el combustible líquido (ACPM), utilizado en la operación de la planta, llevara cada combustible a su punto de operación.

Figura 13. Estructura para el bombeo de ACPM



Fuente: Emgesa S.A E.S.P

2.2.3.2 Combustible sólido para calderas. Como combustible sólido se utiliza carbón tipo bituminoso dado su alto poder calorífico, bajo costo y fácil adquisición, este carbón se utiliza continuamente para la generación de vapor en la caldera.

³⁸ Ibid., p. 3-13

- **Patio de carbón.** El patio de carbón es el área para el almacenamiento y depósito del carbón el cual es usado en el proceso de generación. Consta de dos patios de carbón en un área aproximada de 5.6 Hectáreas, con capacidad de almacenamiento de 200,000 toneladas. Las pilas de carbón tienen una altura entre 3 y 5 m aproximadamente³⁹.

Figura 14. Patio de carbón de la central Termozipa



Fuente: Emgesa S.A E.S.P

- **Generación de lixiviado de carbón.** Durante el transcurso del año se presentan diferentes niveles de precipitación de lluvia sobre el departamento de Cundinamarca cubriendo gran parte de la sabana representada por las precipitaciones de lluvia en Bogotá⁴⁰, estas precipitaciones de lluvia no representan mayores inconvenientes en el normal funcionamiento de la planta como se detalló anteriormente, no obstante, debido a que los patios de carbón que alimentan la planta se encuentran a cielo abierto, la lluvia se filtra a través de las pilas de carbón lo cual genera un proceso de extracción sólido-líquido (lixiviación)⁴¹, este proceso genera continuamente un lixiviado de características únicas en el cual se encuentran diferentes especies disueltas como pirita, carbonatos, azufre, de los cuales hay mayor tendencia a la disociación de la pirita generando disminución del pH en el medio⁴².

³⁹Ibíd., p. 3-14

⁴⁰ IDEAM, Boletín climatológico mensual. 2010-2018

⁴¹ BARAHONA, Rodrigo, Lixiviación en minería, riesgos y acciones preventivas, 2014, p. 2

⁴²SANCHEZ, Luis Enrique, drenajes de mina a cielo abierto, p. 262

- **Canal de lixiviado.** Dada la continua generación de lixiviado y el aumento de su caudal debido a las precipitaciones lluviosas, la central Termozipa construyó un canal (Figura 15) destinado al control de todo el lixiviado generado para dar tratamiento a este antes de su desembocadura en el canal de cenizas.

Figura 15. Vista de un tramo del canal de lixiviado



Fuente: Emgesa S.A E.S.P

El canal de lixiviado tiene de ancho, en la base 0,53m y en la parte superior 1,62m, su profundidad es de 1m y recorre un trayecto de 104,75 metros, con la máxima precipitación registrada de 44mm (precipitación presentada en un periodo de 15 años hasta el año presente) se ha llenado hasta el 70%, con lo cual se demuestra que las especificaciones de diseño con las que se construyó previeron los niveles máximos de precipitación.

3. DIAGNOSTICO DEL TRATAMIENTO ACTUAL DEL LIXIVIADO DE CARBON CON HIDROXIDO DE SODIO

En este capítulo se realizó un diagnóstico del tratamiento actual con hidróxido de sodio al 48% de pureza; En primer lugar, se hizo una revisión bibliográfica de las características físicas y químicas para estimar las condiciones actuales del lixiviado, posteriormente se explica a detalle el problema que genera el lixiviado de carbón y el tratamiento actual que se está realizando para cumplir con la Resolución 631 de 2015, tratamiento que se realiza continuamente sin tener control de cuanto NaOH se está gastando al día, solo cantidades estimadas por lecturas del NaOH del tanque de almacenamiento y la válvula de dosificación la cual se regula dependiendo del nivel de pH del lixiviado (a menor pH mayor dosificación). Como se desconoce el volumen de dosificación de NaOH para un pH específico existe gasto adicional de reactivo y los valores de pH luego de la neutralización se encuentran en un rango de 7-12 incumpliendo muchas veces con la norma.

Finalmente, se realizó una caracterización del lixiviado en un periodo de 50 días tomando como variables de estudio el pH, acidez y la precipitación lluviosa, para establecer rangos de pH, acidez y su relación con los niveles de precipitación lluviosa, de esta manera se establecieron las condiciones reales del lixiviado para un mejor tratamiento que el que se realiza actualmente.

3.1. CARACTERÍSTICAS DEL LIXIVIADO

Como el lixiviado de carbón está clasificado como un drenaje ácido de minería, presenta propiedades similares a otros drenajes de minería similares, en los cuales, día a día varían sus características físicas y químicas debido a distintos factores (mencionados más adelante), por lo que, un análisis por cromatografía no representa las propiedades del lixiviado en un periodo de tiempo mayor a un día⁴³, por esta razón, se hizo una revisión en la literatura de las principales características físicas y químicas de los drenajes de minería de acida, con lo cual, se estimaron las condiciones actuales del lixiviado de carbón en la central Termozipa

⁴³ CONSEJO DE LA MINERÍA AMBIENTAL DE LA COLUMBIA BRITÁNICA , Miningwatch Canadá drenaje ácido de la minería, p. 10

3.1.1 Características Físicas del lixiviado. El lixiviado de carbón es un líquido de color naranja (Figura 16) con una viscosidad cinemática de $0,01007 \text{ cm}^2/\text{s}$ a 25°C ⁴⁴ ; La coloración naranja se debe a la oxidación de la pirita; En periodos de lluvia presenta sólidos disueltos y suspendidos (Figura 17) correspondientes a fragmentos de carbón arrastrados en el proceso y otras especies; No presenta olor alguno.

Figura 17. Lixiviado de carbón filtrado

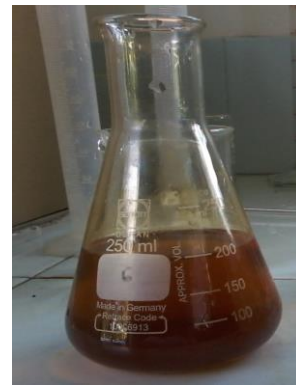
Muestra analizada el
28/09/2017 2:00pm



Fuente: elaboración propia

Figura 16. Lixiviado con presencia de sólidos en suspensión

Muestra tomada el 17/10/2017
8:00am



Fuente: elaboración propia

3.1.2 Características químicas del lixiviado. El lixiviado de carbón generado en la central Termozipa tiene características químicas similares a las descritas para drenajes ácidos de minería mencionadas por Aduvire⁴⁵. Este lixiviado presenta una alta concentración de oxígeno debido al contacto continuo con el aire y el nivel de precipitación de lluvias; Tales condiciones favorecen la acción de bacterias acidófilas, principalmente la *Thiobacillus ferrooxidans*⁴⁶, que oxida continuamente la pirita y otros sulfuros generando una alta cantidad de iones Fe^{+2} y Fe^{+3} mayor a la de otros iones como el CO_3^{+2} que generan alcalinidad, dando como resultado un aumento de la acidez y valores de pH por debajo de 6.

⁴⁴ SANCHEZ. *Ibíd.*, p. 260

⁴⁵ ADUVIRE. *Op.cit.*, p. 4

⁴⁶ ADUVIRE. *Op.cit.*, p. 10

3.2. PROBLEMAS DERIVADOS DEL LIXIVIADO DE CARBÓN

El lixiviado de carbón generado en la central Termozipa, está clasificado como un drenaje ácido de minería presentando valores de pH menores a 6, el lixiviado desemboca en el canal de cenizas (Figura 18) el cual lleva el agua saliente del proceso de generación energía y tiene un pH de 7, este nuevo afluente desemboca más adelante en el Río Bogotá con un pH menor a 6 (según el monitoreo realizado por la empresa) incumpliendo con la resolución 631 de 2015⁴⁷.

La CAR (Corporación Autónoma Regional) de Cundinamarca es la organización encargada de verificar el cumplimiento de las normas ambientales y realiza monitoreos constantes de los vertimientos a los cuerpos hídricos en el departamento; En caso de encontrar valores que no cumplan con la norma, la central Termozipa se expone a multas y sanciones debido al impacto ambiental para la fauna, flora y las comunidades aledañas por parte de estos vertimientos⁴⁸

Figura 18. Vista aérea del canal de cenizas



Fuente: Emgesa S.A E.S.P

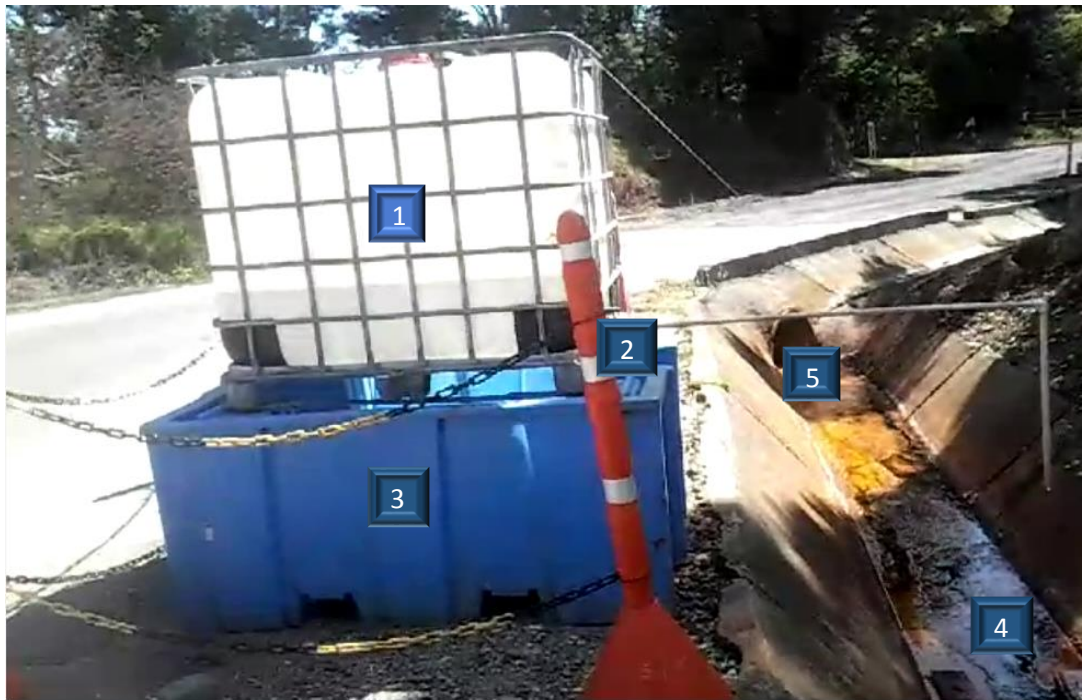
⁴⁷ MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Op.cit., p. 10

⁴⁸ VEGA ALEJANDRA, Efectos de la acidificación sobre el medio ambiente, 2012 [Consultado el 1 Agosto de 2018], disponible en : < <http://www.centrotierravirtual.com/ctvcursos/2012/07/06/efectos-de-la-acidificacion-sobre-el-medio-ambiente/>>

3.3 TRATAMIENTO ACTUAL CON HIDRÓXIDO DE SODIO (NAOH)

El control del pH del lixiviado de carbón por parte de la central Termozipa se realiza con NaOH al 48%, este consiste en un tratamiento activo en el cual se adiciona continuamente NaOH para elevar el pH del lixiviado, obteniendo valores de pH mayores a 7. El tratamiento activo con NaOH se realiza de la siguiente manera:

Figura 19. Tanque de dosificación de NaOH



Numero	Descripción
1	Tanque de almacenamiento de hidróxido de sodio
2	Válvula reguladora
3	Parilla de contención
4	Sitio de neutralización
5	Desembocadura al canal de cenizas

Fuente: elaboración propia

Antes de la desembocadura al canal de cenizas se sitúa un isotanque de 1m³ con su respectiva parilla de contención, (Figura 19), llenado según la norma⁴⁹ al 80% de su capacidad total de NaOH al 48%.

El isotanque posee una válvula reguladora en su base para permitir el paso del NaOH (figura 20). La válvula se ajusta manualmente dependiendo del pH del lixiviado medido por el operador, para establecer la cantidad de hidróxido que se va adicionar continuamente (a menor pH mayor dosificación) el NaOH entra en contacto con el lixiviado justo en el medio de un segmento reducido del canal de lixiviado compuesto por dos ladrillos; Esto con el fin de asegurar una mejor reacción y evitar que pase lixiviado sin reaccionar con NaOH (figura 21).

Figura 20. Válvula de dosificación



Fuente: elaboración propia

Figura 21. Sitio de neutralización, segmento reducido



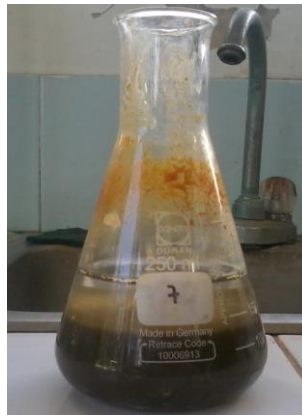
Fuente: elaboración propia

⁴⁹ VAM INDUSTRY, planta de producción de acetato de vinilo, manual de cálculo, 2016 p, 2

Luego de la neutralización se genera una cantidad apreciable de precipitado compuesto por hidróxido de hierro (III) e hidróxido de hierro (II) (Figura 22).

Figura 22. Lixiviado tratado con NaOH al 48%

Muestra tratada el 28/09/2017 3:00pm



Fuente: elaboración propia

Actualmente el NaOH utilizado se encuentra disponible al 48%, la empresa compra este reactivo a un precio de \$1.800 pesos colombianos por cada kg y se compra generalmente cada 30 días. Hasta el momento en el último año (2016-2017) se ha invertido aproximadamente en el tratamiento del lixiviado \$151.200.000 pesos colombianos en la compra de NaOH al 48%.

El proceso actual se realiza continuamente sin tener una dosificación establecida de NaOH, por lo que se incurre en mayores gastos al no tener un volumen de dosificación para cada pH, además, como consecuencia de un mayor gasto de reactivo se presentan valores de pH por encima de 12 incumpliendo con la resolución 631 de 2015.

3.4 CARACTERIZACIÓN DEL LIXIVIADO DE CARBÓN

Debidos a los altos costos del hidróxido de sodio al 48% como agente neutralizante y no tener un control en la dosificación en el lixiviado, se llevó a cabo una caracterización del lixiviado para establecer los valores de pH y acidez que se presentan en el lixiviado, además se evaluó los niveles de precipitación lluviosa como el factor más importante que incide en las características físicas y químicas del lixiviado.

3.4.1 Factores que alteran las características del lixiviado de carbón. Antes de la caracterización y dado que una cromatografía no representa las características químicas del lixiviado⁵⁰, se realizó una revisión en la literatura de los principales factores que inciden en las características del lixiviado de carbón, con la finalidad de medir y analizar los más importantes durante la caracterización:

- **Niveles de precipitación de lluvia:** los niveles de precipitación lluviosa, indican que cantidad de lluvia atmosférica de características normales (mayor concentración de agua respecto a otros elementos como nitrógeno, azufre, calcio, entre otros) caen en cierta región .En el contexto de Termostipa, los niveles de precipitación indican que cantidad de lluvia cae en los patios de carbón y determinan que cantidad de agua entra en contacto con el carbón y posteriormente genera drenaje ácido⁵¹, es decir, existe una relación entre el volumen de agua de las precipitaciones y la variación de pH⁵².

Otro caso de precipitación lluviosa es la presencia de lluvia ácida ya sea de origen antropogénico o natural⁵³, presentando diferentes características a la lluvia en condiciones normales, afectando de forma diferente las características del lixiviado de carbón.

Otros fenómenos de precipitación que afectan la generación lixiviado de carbón son los ciclos ENOS ⁵⁴(El Niño- Southern Oscillation), que hacen referencia a un ciclo global que tiene 2 fases, una cálida y otra fría. La fase cálida se conoce como “El Niño” representada por épocas de sequía y lluvias de baja intensidad, mientras que la fase fría conocida como “La Niña” consiste en épocas de constante lluvia.

⁵⁰ RODRIGUEZ ROBERTO , Los residuos minero-metalúrgicos en el medio ambiente, Vol. 11, 2006, p. 646

⁵¹ ADUVIRE, Op.cit., p. 19

⁵² C. MONTERROSO Y F. MACÍAS, Aguas de drenaje de minas afectadas por la oxidación de sulfuros. variaciones estacionales de su composición, Edafología, Vol., 5, 1998, p. 8

⁵³ VÁSQUEZ, Tatiana, composición química del agua de lluvia y de niebla recolectada en la reserva biológica Monteverde, Uniciencia, p. 54

⁵⁴MONTEALEGRE JOSÉ, Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico,2014, p. 17

- **Sitio de extracción:** el tipo de carbón utilizado en la generación de energía y almacenado en el patio de carbón presenta diferentes características dependiendo de la mina donde hizo su extracción; De cada mina diferente se obtiene un carbón diferente diferenciado a grandes rasgos por parámetros como poder calorífico, humedad contenido volátil, no volátil y contenido de carbono (turba, lignito, hulla antracita)⁵⁵, sin embargo, el carbón de cada mina presenta distintas concentraciones de azufre como sulfuros y piritas, calcio como carbonatos y metales⁵⁶, hierro, cromo, cadmio, zinc, molibdeno, entre otros; Estas características únicas de cada carbón inciden directamente en el tipo de drenaje ácido que se forma en la central Termozipa.
- **Temperatura:** la temperatura es una variable que afecta la cantidad de oxígeno disuelto (OD) presente en el medio y con ello parámetros como la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno (DBO). Para medios con altas temperaturas el oxígeno presente en el medio será menor y para estos casos, los principales procesos de oxidación de sulfuros y metales se presentan en menor medida⁵⁷.
- **Oxígeno:** el oxígeno en el aire es el principal responsable de la generación de drenajes ácidos, debido a reacciones de oxidación con la pirita y otros sulfuros liberando iones metálicos. Las reacciones de oxidación aumentan si hay agitación con lo cual la cantidad de oxígeno aumenta, tanto así, que el medio puede llegar a saturarse de oxígeno, generando continuamente Fe⁺², Fe⁺³, por otra parte, dependiendo de la cantidad de oxígeno disuelto, aumenta o disminuye la actividad de microorganismos responsables de acelerar la oxidación de la pirita.
- **Microorganismos:** los microorganismos son los principales catalizadores del proceso de oxidación de la pirita y la generación de Fe⁺³; Estos microorganismos son las bacterias: *Thiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans* y *Acidithiobacillus thiooxidans*, que tienen en común su carácter acidófilo (generan acidez en el lixiviado durante largos periodos de tiempo como semanas y meses) y son quimiolitotrofos⁵⁸. Para los drenajes ácidos de minería provenientes del

⁵⁵ZAPATA ROLANDO, Carbones colombianos: clasificación y caracterización termquímica para aplicaciones energéticas, revista ION, Vol. 27, p. 3

⁵⁶MUÑOZ JORGE, Planes de Cierre Mineros – Curso Resumido, Universidad de Madrid, 2008, p. 24

⁵⁷ADUVIRE. Op.cit., p. 7

⁵⁸CONSEJO DE LA MINERÍA AMBIENTAL DE LA COLUMBIA BRITANICA, Op.cit., p. 10

carbón se ha encontrado como mayor catalizador la bacteria *Thiobacillus ferrooxidans* con aumentos de hasta 106 veces la velocidad normal de oxidación de la pirita ⁵⁹; Esta bacteria presenta una alta capacidad de adaptación, es aerobia (presencia de oxígeno) , anaeróbica facultativa (se adapta a entornos sin oxígeno), trabaja en pH de 1.5-5 y temperaturas entre los 25°C y 45°C⁶⁰.

A partir de la revisión en la literatura realizada para cada uno de los factores que inciden en la formación de drenaje ácido en la central Termozipa, en el siguiente cuadro (Cuadro 6) se resumen estos factores donde se indica si se tuvieron o no en cuenta durante la caracterización y la razón por lo que fueron incluidos o descartados.

Cuadro 6. Factores que inciden en las características del lixiviado.

Factor	Selección	Razón
Sitio de extracción	No	El carbón utilizado como combustible generalmente proviene de la misma mina, su composición es la de cualquier carbón sub-bituminoso, por lo que no presenta ninguna especie que altere en una gran medida el lixiviado de carbón como una alta presencia de carbonatos (aparte del CaCO ₃), composiciones altas de sulfuros (>5%) ni contaminantes como mercurio, arsénico, entre otros. (ANEXO A).
Niveles de precipitación	Si	El volumen de agua proveniente de los niveles de precipitación, representa una variable crítica en la generación de drenaje ácido al afectar los valores de pH presentados en el lixiviado de carbón, además, es una variable que no puede tomarse constante dado que depende de las condiciones climáticas que varían continuamente en el tiempo.
Temperatura	No	La temperatura permanece constante en la central, presentando temperaturas a lo largo del día entre 17°C – 20°C

⁵⁹ MINISTERIO DE MINERÍA DE CHILE, Guía metodológica sobre drenaje ácido en la industria minera, 2002 p. 10

⁶⁰ ADUVIRE. Op.cit., p. 63

Cuadro 6. (Continuación)

Oxigeno	No	Tanto las pilas de carbón como el lixiviado de carbón se encuentran expuestos a la intemperie, por lo que el medio se encuentra saturado de oxígeno.
Microorganismos	No	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i> presenta una alta actividad en el lixiviado generando continuamente acidez debido al alto contenido de oxígeno en el medio ,sin embargo, su temperatura optima (45°C) está lejos del rango de temperatura de la central (17°C-20°C), aun así, la bacteria presenta una alta actividad generando pH menores a 4 ⁶¹ . Durante la caracterización no se analizaron microorganismos debido a que la temperatura y el oxígeno permanecen constantes, además, no se encuentra dentro del alcance del proyecto realizar este tipo de análisis.

Fuente: elaboración propia

3.4.2 Metodología empleada en la caracterización. Se midieron como variables en la caracterización el pH (medida de iones H⁺, que representan la acidez del lixiviado y el cual es el parámetro exigido por la norma), la acidez (acidez total expresada en mgCaCO₃ que representa la medida de todas las especies que generan acidez en el lixiviado) y los niveles de precipitación de lluvia.

Las mediciones de pH, acidez y niveles de precipitación se realizaron entre el 26 de octubre de 2017 y el de diciembre de 2017 con un total de 50 mediciones realizadas. Para los días seleccionados se realizó una medición en la mañana a las 8:00am y una en la tarde a las 2:00pm

3.4.2.1 Determinación de pH. La determinación de pH se llevó a cabo para cada medición (8:00am y 2:00pm) empleando un pH-metro de marca Hanna Instruments de referencia HI-991001.

La determinación se realizó introduciendo el electrodo del pH metro (Figura 23), en cada una de las muestras determinando el valor de pH para cada una.

El pH-metro cuenta con un medidor de temperatura, con lo cual se registró una temperatura entre 17°C-20°C durante todas las mediciones de la caracterización.

⁶¹REINA ELIANA, *Thiobacillus ferrooxidans*, Biolixiviación, [consultado el 1 de agosto de 2018] Disponible en : <<https://prezi.com/batj7jzyq4cq/thiobacillus-ferrooxidans/>>

Figura 23. pH metro HI 991001

Rango de pH: 1-14



Fuente: www.directindustry.com,
consultado el 24 de Julio de 2018

3.4.2.2 Determinación de acidez.

- La determinación de acidez se realizó a continuación de la determinación de pH para cada una de las mediciones.
- La determinación de acidez se realizó siguiendo la metodología enunciada en la norma técnica colombiana⁶².
- A partir de la muestra de 5 galones (volumen establecido para llevar a cabo la experimentación del proyecto) se tomaron tres alícuotas de 20 ml en 3 beakers marcas Boeco de 50 ml, mediante el uso de una pipeta graduada de marca Boeco de 10 ml.
- Para cada alícuota se realizó un ensayo de titulación (donde el ácido corresponde a la muestra de lixiviado y la base fuerte al hidróxido de sodio) empleando una bureta de vidrio de 10ml marca Brand, usando como titulante hidróxido de sodio 1N

⁶² ICONTEC, Norma técnica colombiana 4803, Calidad del agua. Determinación de acidez y de alcalinidad en agua, 2016, p. 3

- La titulación se realizó hasta alcanzar un pH de 8,3, valor medido el pH-metro marca Hanna
- Con los datos obtenidos del anterior procedimiento se calculó la acidez total expresada en mg/LCaCO₃ mediante la siguiente formula:

Ecuación 6. Fórmula para calcular y expresar la acidez en mg CaCO₃/L

$$\frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} = \frac{V_b * N * 50000}{V_m}$$

Donde:

mg CaCO₃/L= valor de acidez total en miligramos de carbonato de calcio por cada litro de muestra

V_b= volumen de hidróxido de sodio (1N) en ml gastado en la titulación de la muestra

N= Concentración expresada en normalidad del hidróxido de sodio como agente titulante

50000= factor de conversión obtenido de la conversión de ml a L

V_m= Volumen de la muestra de lixiviado en mililitros

- La ecuación 6 se empleó para calcular la acidez de cada una de las alícuotas obteniéndose 3 valores de acidez para cada una de las mediciones de la caracterización
- Con los 3 valores de acidez se realizó un promedio y se determinó un solo valor de acidez para cada medición

3.4.2.3 Medición de niveles de precipitación.

- Se consultó el registro histórico de los niveles de precipitación de lluvia en la empresa correspondientes a cada medición de la caracterización (ANEXO B)

- El dato de precipitación se mide en mm (milímetros de agua) o L/m² que indica la cantidad de agua que cae en un área determinada⁶³
- Esta área corresponde a una placa de 1cm² dentro del pluviómetro marca Acua Rite utilizado en la empresa (figura 21)

Figura 24. Pluviómetro Acua Rite

Medición en intervalos de 0,2 mm



Fuente: Emgesa S.A E.S.P

3.4.3. Resultados. A continuación, en la tabla 1 se muestran los resultados para cada una de las mediciones, mostrando en cada una el valor de pH medido, la acidez total promedio calculada y la precipitación medida para cada medición.

Durante la caracterización se presentaron rangos de pH entre 2,07-2,8, rangos de acidez entre 4500 mgCaCO₃/L - 16250 mgCaCO₃/L y precipitaciones entre 0mm - 10,4mm

Tabla 1. Caracterización lixiviado septiembre-diciembre 2017

Muestra	Fecha	Hora	Ph	Acidez (mg CaCO ₃ /L)	Precipitación(mm)
1	26/09/2017	08:00	2,63	6650	2,5
2	26/09/2017	02:00	2,63	6655	0
3	28/09/2017	08:00	2,65	6390	0
4	28/09/2017	02:00	2,1	13260	0

⁶³ CASELLA ESPAÑA S.A, Pluviómetro de balancín y calefactado, manual de instrucciones, 2013, [consultado el 1 de agosto de 2018], disponible en: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:37grZi2eGO4J:casella-es.com/wp-content/uploads/2013/07/Man-Pluvi%25C3%25B3metro.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>

Tabla 1. (Continuación).

5	29/09/2017	08:00	2,33	10300	0
6	29/09/2017	02:00	2,42	9150	0
7	03/10/2017	08:00	2,42	9150	0
8	03/10/2017	02:00	2,61	6900	0
9	05/10/2017	08:00	2,7	5760	0
10	05/10/2017	02:00	2,64	6700	0
11	06/10/2017	08:00	2,56	7520	0
12	06/10/2017	02:00	2,54	7760	0,2
13	10/10/2017	08:00	2,31	10600	0
14	10/10/2017	02:00	2,35	10000	10,4
15	12/10/2017	08:00	2,34	10150	0
16	12/10/2017	02:00	2,33	10300	0
17	13/10/2017	08:00	2,24	11550	0,5
18	13/10/2017	02:00	2,31	10600	0
19	17/10/2017	08:00	2,35	10200	0
20	17/10/2017	02:00	2,42	9155	0
21	19/10/2017	08:00	2,46	8660	0
22	19/10/2017	02:00	2,24	11500	0
23	20/10/2017	08:00	2,28	10900	0
24	20/10/2017	02:00	2,1	13250	0
25	24/10/2017	08:00	2,07	16250	0
26	24/10/2017	02:00	2,11	13120	0
27	26/10/2017	08:00	2,21	11750	0
28	26/10/2017	02:00	2,19	12200	2
29	05/12/2107	08:00	2,21	11750	0
30	05/12/2017	02:00	2,1	13250	0
31	06/12/2017	08:00	2,12	13200	1,5
32	06/12/2017	02:00	2,21	11750	0
33	07/12/2017	08:00	2,4	9400	0
34	07/12/2017	02:00	2,24	11550	0
35	11/12/2017	08:00	2,8	4500	0
36	11/12/2017	02:00	2,14	12720	0
37	12/12/2017	08:00	2,08	15250	0
38	12/12/2017	02:00	2,21	11700	0
39	13/12/2017	08:00	2,24	11500	0,7
40	13/12/2017	02:00	2,24	11520	0
41	18/12/2017	08:00	2,3	10700	0
42	18/12/2017	02:00	2,17	12300	0

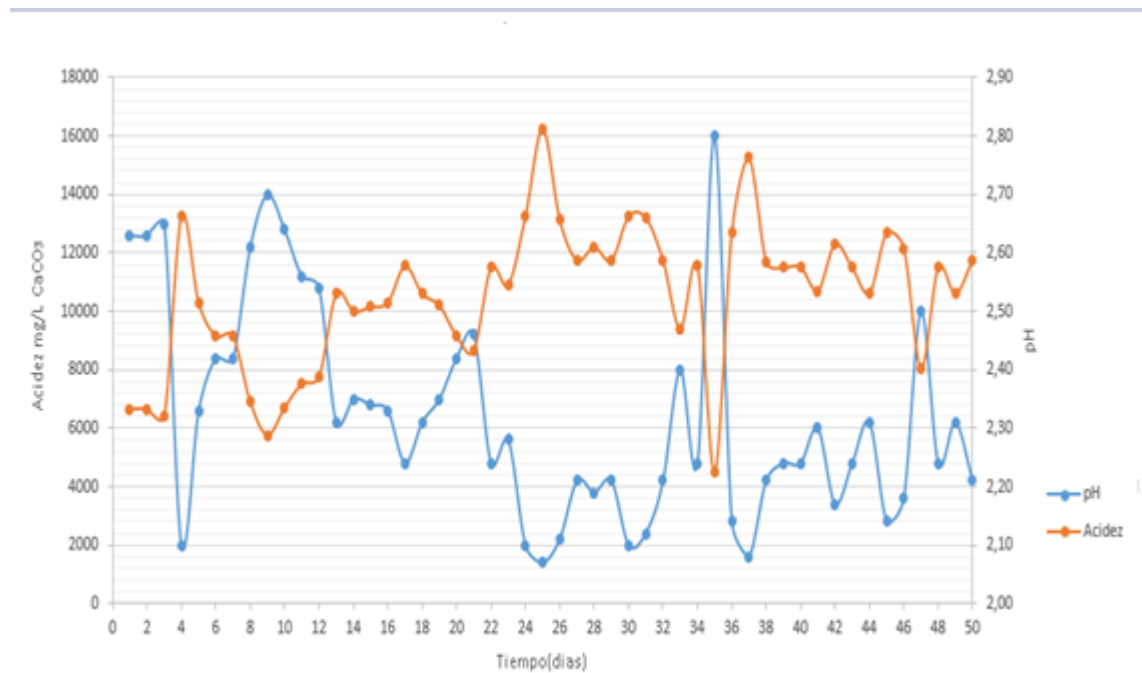
Tabla 1. (Continuación).

43	19/12/2017	08:00	2,24	11500	0
44	19/12/2017	02:00	2,31	10625	0
45	20/12/2017	08:00	2,14	12690	0
46	20/12/2017	02:00	2,18	12160	0
47	21/12/2017	08:00	2,5	8050	0
48	21/12/2017	02:00	2,24	11500	0
49	22/12/2017	08:00	2,31	10600	0
50	22/12/2107	02:00	2,21	11750	0

Fuente: elaboración propia

A partir de los datos enunciados en la tabla 1 se elaboró la gráfica 1. Donde el eje X corresponde al número de días (donde cada uno representa una medición) de la caracterización, el eje Y izquierdo corresponde a la acidez expresada en mg CaCO₃/L y el eje Y derecho corresponde al valor de pH determinado para cada medición

Grafica 1. Correlación pH-acidez, caracterización septiembre-diciembre del 2017

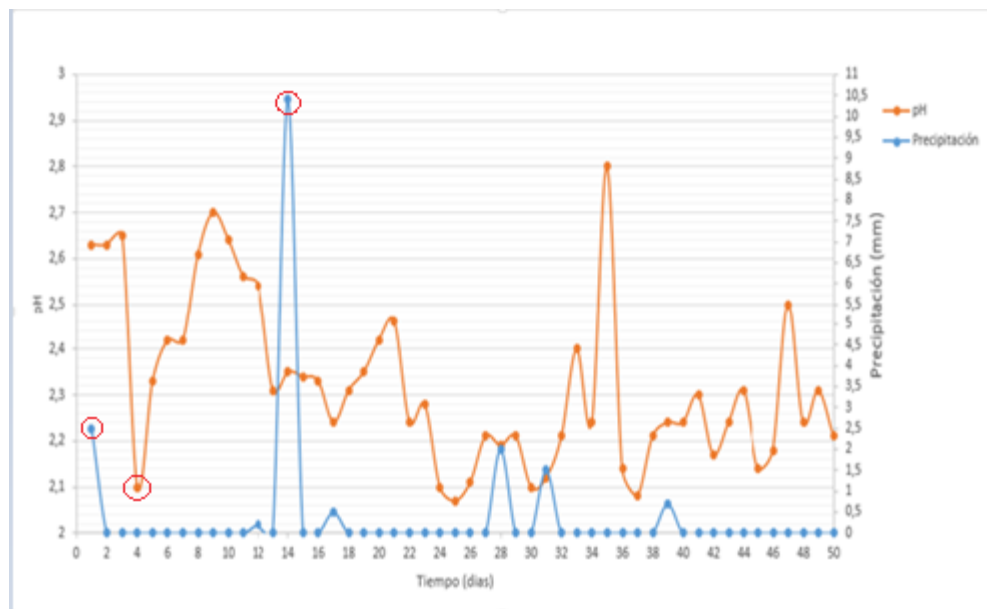


Fuente: elaboración propia

La gráfica 1 se realizó para establecer la relación existente entre el pH y la acidez (medidas de los iones ácidos presentes en el lixiviado), como resultado se encontró una relación lineal e inversamente proporcional entre el pH y la acidez, donde, para un valor mínimo de pH de 2,07 le correspondió un valor máximo de acidez de 16250 mg CaCO₃/L, y, para un valor máximo de pH de 2,8 le correspondió un valor mínimo de acidez de 4500 mg CaCO₃/L

A partir de los datos enunciados en la tabla 1 se elaboró la gráfica 2. Donde el eje X corresponde al número de días (donde cada uno representa una medición) de la caracterización, el eje Y izquierdo corresponde al valor de pH determinado para cada medición y el eje Y derecho corresponde al valor de precipitación en mm correspondiente a cada medición.

Grafica 2. Correlación pH- precipitación, caracterización septiembre-diciembre del 2017



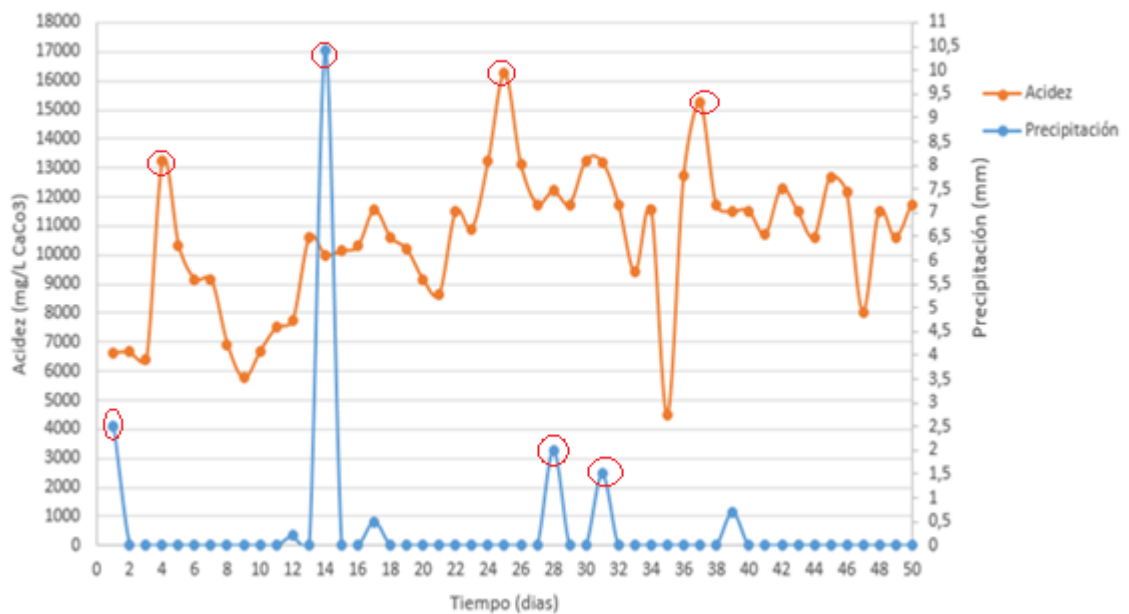
Fuente: elaboración propia

La grafica 2 se realizó para establecer la relación existente entre pH y precipitación⁶⁴ donde se observó una leve disminución del pH luego de una precipitación considerable como la del día 14 con una precipitación máxima registrada de 10,4mm y una disminución abrupta el día 4 con un pH de 2.1 luego de la precipitación del día 1 con un valor de 2,5 mm

⁶⁴ MONTERROSO. Op.cit., p. 10

A partir de los datos enunciados en la tabla 1 se elaboró la gráfica 3. Donde el eje X corresponde al número de días (donde cada uno representa una medición) de la caracterización, el eje Y izquierdo corresponde al valor de acidez expresada en mg CaCO₃/L determinado para cada medición y el eje Y derecho corresponde al valor de precipitación en mm correspondiente a cada medición.

Grafica 3. Correlación acidez- precipitación, caracterización septiembre-diciembre del 2017



Fuente: elaboración propia

La grafica 3 se realizó para establecer la relación existente entre acidez y precipitación donde se observó un aumento de la acidez en el día 25 luego de una precipitación considerable como la del día 14 con una precipitación máxima registrada de 10,4mm, igualmente, se observó la relación entre el aumento de la precipitación con el aumento de la acidez en los días 4 y 37 con precipitaciones de 2,5mm el día 1, 2mm para el día 28 y 1,5mm para el día 31

3.4.4 Análisis de resultados. En la gráfica 1 se encontró la correlación de pH y acidez, donde existe una relación lineal e inversamente proporcional entre estas variables, tal relación tiene sentido debido a que ambas mediciones miden la acidez en el lixiviado; El pH mide la cantidad de iones H^+ (generados por la descomposición del ion H_3O en el medio) ⁶⁵ y la acidez total mide la totalidad de iones en el medio que generan acidez (siendo esta última una medición más sensible). El comportamiento inversamente proporcional se debe a que la acidez se mide en términos de alcalinidad ($mgCaCO_3/L$) la cual es una medida equivalente de la acidez del lixiviado.

Las gráficas 2 y 3 evidenciaron una relación entre los niveles de precipitación y las mediciones de pH y acidez, tal relación se observa en los días 4, 25 y 37 con aumentos de acidez y disminución de pH, debido a precipitaciones presentadas en los días 1,14,28 y 31; Estos datos indican periodos aproximados entre 3-11 días para observar la disminución del pH debido a la lluvia, es decir, la aceleración de los procesos de oxidación de la pirita y generación de un lixiviado más ácido tarda este tiempo en presentarse. La razón para que se presente esta diferencia de tiempo entre aumento o disminución de pH se debe a varios factores:

- **Movimiento de las pilas de carbón:** Durante el proceso de generación de energía y acopio de carbón se presentan varios movimientos en las pilas de carbón (forma en que se almacena el carbón) proceso en el cual el carbón presenta variaciones en sus parámetros físicos y químicos como la humedad ambiental, oxígeno y la temperatura de las pilas acelerando las reacciones de oxidación de los componentes del carbón⁶⁶.
- **Espacio de confinamiento del carbón:** El carbón se encuentra en un área de 5,6 Hectáreas, debido a su extensión el tiempo de filtrado del agua lluvia varía de un punto a otro generando diferentes tipos de lixiviado⁶⁷, además, la altura de las pilas de carbón varía continuamente aumentando o disminuyendo el tiempo de filtrado del agua lluvia.

⁶⁵ MONTOYA JOHANNA, Identificación de drenajes ácidos de mina con sensores remotos, Universidad Nacional De Colombia, 2015, p. 23

⁶⁶ BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTOMOMA DE PUEBLA, Biología, guía metodológica II, 2010, p. 13

⁶⁷ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA DECOLOMBIA, Guía minero ambiental ,1998, p. 15

- **Factores adicionales:** La lluvia acida, composición del carbón y otros factores mencionados anteriormente, suelen variar periódicamente afectando las características finales del lixiviado de carbón.

Como resultado de la caracterización se encontró que el pH del lixiviado permanece por debajo de 4, por lo que este lixiviado de carbón es un *drenaje de minería acido todo el tiempo de estudio por lo que se requiere de un tratamiento de neutralización.*

Actualmente el tratamiento de lixiviado de carbón está siendo tratado con hidróxido de sodio, siendo este reactivo costoso y en general el tratamiento actual es poco eficiente.

Los niveles de precipitación representaron una variable crítica en la caracterización del lixiviado, sin embargo, son valores estimados debido a la cantidad de factores que varían las características finales del lixiviado de carbón.

Las variables analizadas (pH, acidez, precipitación) presentan relación entre sí, el pH es la variable más representativa del lixiviado, siendo fácilmente medible y agrupando la incidencia de los demás factores que inciden en el drenaje acido, la acidez, en cambio, es una medida inversamente proporcional al pH y un parámetro más sensible, sin embargo, su medición es más compleja y poco práctica.

De esta manera como resultado del diagnóstico realizado al tratamiento actual, se hace evidente evaluar otras opciones de tratamiento, como utilizar otro agente neutralizante y establecer volúmenes de dosificación según el pH del lixiviado para un tratamiento más eficiente.

4. EVALUACIÓN TÉCNICA DE DIFERENTES AGENTES NEUTRALIZANTES PARA EL TRATAMIENTO DEL LIXIVIADO DE CARBÓN

En este capítulo se realizó una revisión en la literatura de las características de los 6 agentes neutralizantes usados actualmente en el tratamiento de drenajes ácidos de minería, con el fin de seleccionar los 3 mejores para ajustar el pH del lixiviado de carbón según lo establece la resolución 631 de 2015, posteriormente, con los 3 agentes seleccionados se llevó a cabo un desarrollo experimental, donde se tomaron como variables la concentración del agente neutralizante y el volumen de dosificación para cada pH (valores de pH determinados en la caracterización), luego, se analizaron los resultados obtenidos y se seleccionó el mejor agente neutralizante tomando como variables el costo y el volumen de dosificación en valores límites de pH, finalmente, se determinan las ventajas del agente neutralizante para procesos de tratamiento más eficientes que el llevado a cabo actualmente por la central Termozipa.

4.1. SELECCIÓN DE AGENTES NEUTRALIZANTES

Dada la alta variedad de agentes neutralizantes utilizados en el tratamiento de drenajes ácidos, se realizará un cuadro comparativo con los criterios de selección mostrados a continuación, posteriormente, se realizará una matriz de selección para determinar los neutralizantes más viables para el tratamiento del lixiviado de carbón.

4.1.1 Criterios de selección. Los criterios de selección⁶⁸ corresponden a diferentes características de los agentes neutralizantes (Cal, hidróxido de sodio, amoníaco, caliza, bicarbonato de sodio e hidróxido de magnesio) que se tienen en cuenta a la hora de seleccionar el mejor neutralizante para un tratamiento de drenaje ácido de minería. A continuación, se explicará cada criterio en el contexto actual del tratamiento del lixiviado de carbón.

- **Costo del neutralizante:** Costo actual del agente neutralizante por cada Kg en pesos colombianos (COP).
- **Eficiencia de neutralización:** porcentaje teórico de neutralización; Se expresa en un rango de 0%-100% donde un valor de 0 indica que no hay reacción de neutralización y 100 indica que todo el ácido fue neutralizado.

⁶⁸ D.TRUMM. Selection of active treatment systems for acid mine drainage, Vol 31, 2008, p. 4

- **Máximo pH alcanzable:** Valor máximo de pH que se alcanza durante la neutralización.
- **Remoción de metales:** Iones metálicos que se remueven en forma de hidróxidos, con la neutralización.
- **Requerimientos de Implementación:** Sistemas de dosificación y métodos adicionales que se requieren para la utilización del neutralizante.
- **Generación de lodos:** Representación cualitativa de la cantidad de lodos generados según la literatura.
- **Riesgos en el manejo y disposición:** Calificación cualitativa del riesgo que presenta para el operario el uso del agente neutralizante.
- **Disponibilidad:** hace referencia a la disponibilidad regional del neutralizante para la empresa, es decir, si el agente neutralizante es de fácil compra (alta), requiere permisos o nuevos proveedores (baja) o no se puede comprar.

En el siguiente cuadro Trumm⁶⁹ resume la mayoría de los criterios mencionados anteriormente, con excepción del criterio de disponibilidad (La disponibilidad se determinó a partir de la información dada por la empresa para la compra de reactivos) y el costo de agente neutralizante (costo determinado según el valor actual del reactivo en pesos colombianos):

⁶⁹ D.TRUMM. Ibid., p. 5

Cuadro 7. Características de los agentes neutralizantes utilizados para el tratamiento de AMD⁷⁰

Neutralizante (pureza)	Máximo pH alcanzable	Costo (COP/kg)	Eficiencia de neutralización (%)	Disponibilidad	Implementación	Cantidad de lodos generados	Metales removidos	Riesgo
Cal (92%)	12,4 – 12,5	\$336	90	Alta	Dosificación con agitación, sistemas en lechadas	Alta	Fe, Mg	No
Hidróxido de sodio (48%)	14	\$1500	100	Alta	Dosificación sin agitación	Baja	Fe, Mn, Mg	Medio
Amoniaco (99,6%)	9,2	\$840	100	No	Dosificación como gas comprimido, requiere bomba	Baja	Fe, Al	Alto
Caliza	Teórico 9,4 Real 6 - 7,5	\$140	30 - 90	Baja	Dosificación con agitación, requiere tratamiento previo, sistemas en lechadas	Alta	Fe, Al	No
Bicarbonato de sodio (99%) ⁷¹	10,1	\$640	86 ⁷²	Alta	Dosificación con agitación	Media	Fe, Mg	No
Hidróxido de magnesio (99%)	Teórico 10,2 Real 9 - 9,5	\$280	90 -95	No	Dosificación con agitación, requiere tratamiento previo, sistemas en lechadas	Alta	Fe	No

Fuente: D.TRUMM. Selection of active treatment systems for acid mine drainage, Vol 31, 2008, p. 3 [3 de Agosto de 2018]

⁷⁰ D.TRUMM. Ibid., p. 7

⁷¹ TAYLER, Bingham. Acid Mine Drainage Treatment, Vol 2, 1972, p. 78

⁷² NEMEROW. Op.cit., p. 642

4.1.2 Comparación y selección de agentes neutralizantes. Con los criterios mostrados anteriormente, y según los requerimientos de la empresa se realizó la siguiente matriz de selección (Cuadro 8) en la cual se asignaron valores del 1 a 3, donde, 1 indica el parámetro menos recomendable, 2 indica un parámetro aceptable, y 3 indica un valor recomendable para cada uno de los criterios de selección.

Cuadro 8.Valores para cada criterio de la matriz de selección

Valor/criterio	Ph	Costo (COP/Kg)	Eficiencia de neutralización (%)	Disponibilidad	Implementación	Cantidad de lodos generados	Metales removidos	Riesgos
1	<9	> \$ 800	<80	No	Requiere agitación, tratamiento previo y equipos adicionales	Alta	Fe	Alto, riesgos en manipulación y almacenamiento
2	<11	\$400 - \$800	<90	Baja	Requiere agitación y tratamiento previo	Media	Fe, Mg o Fe, Al	Medio, riesgos en manipulación y uso
3	<14	< \$ 400	100	Alta	Requiere o no agitación	Baja	Fe, Mg, Mn	Bajo, riesgo en manipulación o riesgos nulos

Fuente: elaboración propia

Tomando como referencia el cuadro 7 y teniendo en cuenta los valores establecidos para cada criterio en el cuadro 8 se realizó la siguiente matriz (cuadro 9):

Cuadro 9. Matriz de selección de agentes neutralizantes

Neutralizante/criterio	pH	Costo (COP/Kg)	Eficiencia de neutralización (%)	Disponibilidad	Implementación	Cantidad de lodos generados	Metales removidos	Riesgos	Total
Cal (92%)	3	3	2	3	2	2	2	3	20
Hidróxido de sodio (48%)	3	1	3	3	3	3	3	2	21
Amoniaco (99,6%)	2	1	3	1	1	3	2	1	14
Caliza	1	3	1	2	2	1	2	3	15
Bicarbonato de sodio (99%)	2	2	2	3	3	2	2	3	19
Hidróxido de magnesio (99%)	2	2	3	1	1	2	1	2	14

Fuente: elaboración propia

El amoniaco, la caliza y la cal presentaron puntajes bajos debido principalmente, a la falta de proveedores y permisos requeridos para su compra, además, de una implementación más costosa para su uso.

Con un puntaje de 21 obtenido en la matriz de selección, el hidróxido de sodio se presenta como la mejor opción para el tratamiento de lixiviado según los requerimientos de la empresa, no obstante, presenta algunos fallos como su alto costo y los riesgos en su manipulación y uso, por otra parte, el hidróxido de calcio y bicarbonato de sodio presentan puntajes cercanos, con lo cual también son viables para el tratamiento del lixiviado carbón.

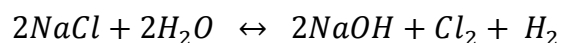
El hidróxido de sodio, el bicarbonato de sodio y la cal fueron seleccionados como los agentes neutralizantes más adecuados para el tratamiento del lixiviado de carbón de la central Termozipa.

4.1.3 Características de los agentes neutralizantes seleccionados. A continuación, se muestra una revisión bibliográfica de las características físicas y químicas para cada uno de los agentes neutralizantes seleccionados.

4.1.3.1 Hidróxido de sodio. El hidróxido de sodio (NaOH) también conocido como soda caustica o lejía caustica se produce por la reacción de carbonato de sodio con hidróxido de calcio o por electrólisis de soluciones acuosas de cloruro de sodio. A temperatura ambiente el hidróxido de sodio se encuentra en estado sólido, es de color blanco y su estructura es cristalina. Es una sustancia exotérmica al contacto con agua o con ácidos. Presenta propiedades corrosivas⁷³.

Industrialmente el hidróxido de sodio se produce como solución al 50% en peso mediante una reacción de intercambio de iones (Ecuación 7), aunque también se consigue en pellets en una 99% en peso los cuales pueden ser disueltos en agua (este proceso es bastante exotérmico y debe ser rigurosamente controlado).

Ecuación 7. Obtención de hidróxido de sodio



Entre las propiedades físicas tiene un peso molecular de 40g/mol, alta solubilidad en agua; Entre sus propiedades químicas, se destaca su alta alcalinidad y poder corrosivo, es muy soluble en etanol y metanol. El hidróxido al reaccionar con sales de amonio presenta un alto riesgo ya que es inflamable.

El hidróxido de sodio en presencia de la humedad ambiental, reacciona con el dióxido de carbono (CO₂) y monóxido de carbono (CO) Para generar carbonato de sodio Y formato de sodio.

El hidróxido de sodio provoca irritación en ojos y piel en concentraciones mayores al 25% provoca irritaciones. La ingesta de Hidróxido de Sodio en altas concentraciones provoca daños serios en tejidos como labios, lengua, garganta, estomago, etc.⁷⁴

El hidróxido de sodio es usado ampliamente en procesos de neutralización de drenajes ácidos de minería en especial cuando el principal problema a tratar es la acidez y se presentan efluentes con bajos caudales, este agente

⁷³ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), Managing Hazardous Materials Incidents, Sodium Hydroxide, p. 2

⁷⁴ OIT (Organización Internacional Del Trabajo). International Chemical Safety Cards, Sodium Hydroxide, p. 3

neutralizante produce lodos menos voluminosos que los producidos por otros neutralizantes⁷⁵.

4.1.3.2 Hidróxido de calcio. El hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) también conocido como cal hidratada, tiene un peso molecular de 74.1g/mol, es usado en la fabricación de pesticidas, fungicidas e insecticidas. En tratamientos de agua se usa para el proceso de suavizado del agua, tratamiento de efluentes ácidos, también se utiliza como material sanitario y tratamientos de desechos municipales⁷⁶.

Industrialmente se utiliza en concentraciones de 90 -100% en peso⁷⁷. Tiene un aspecto de polvo blanco, una solubilidad en agua de 1.65 g/L a 20 °C, es una sustancia alcalina presenta un pH de 12,4, no es un compuesto explosivo ni inflamable⁷⁸.

Al contacto con sustancias ácidas u oxidantes se producen reacciones exotérmicas formando sales, Al reaccionar con compuestos metálicos como aluminio y bronce en presencia de humedad produce desprendimiento de hidrógeno⁷⁹.

4.1.3.3. Bicarbonato de sodio. El carbonato de sodio, hidrógeno carbonato de sodio, carbonato sódico o bicarbonato de sodio como se conoce comúnmente, tiene como fórmula química NaHCO_3 ; En su mayor concentración (99%) es un polvo blanco, estable al aire seco, soluble en agua, insoluble en alcohol y no presenta olor. Las soluciones preparadas con bicarbonato presentan una alta alcalinidad que aumenta cuando la solución se agita o se calienta⁸⁰.

El bicarbonato de sodio se obtiene comúnmente en el proceso Solvay durante la carbonatación, que se resume en las siguientes reacciones (Ecuación 8 y 9):

⁷⁵RODRIGUEZ, MIGUEL, Diseño de un planta de tratamiento para drenaje ácido de una mina en el estado de México, Vol. 20, núm. 2, p. 119- 199

⁷⁶ INDUSTRIAS DAYI, S.A. Ficha técnica hidróxido de calcio, p. 2, [Consultado el 3 de Agosto de 2018], disponible en: <<http://www.caldelvalle.com/industrial.php>>

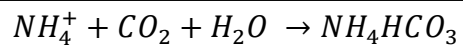
⁷⁷ORION PRODUCTOS INDUSTRIALES, S.A, HDSM Hoja de Datos de Seguridad de Materiales, p. 1

⁷⁸HEROGRA AMBIENTAL S.A, Dossier técnico, hidróxido cálcico uso industrial, p. 8

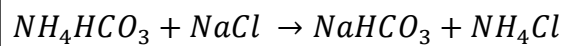
⁷⁹ HEROGRA. *Ibíd.*, p. 9

⁸⁰ ANMAT, (Administración nacional de medicamentos, alimentos y tecnología médica), características carbonato sódico hidrogenado, 2015, [Consultado el 3 de Agosto de 2018], disponible en: < <https://www.argentina.gob.ar/anmat>>

Ecuación 8. Formación del ion HCO₃



Ecuación 9. Obtención de bicarbonato de sodio



Se retira del proceso como precipitado que se filtra luego y se calienta para obtener el bicarbonato de sodio en polvo

El bicarbonato de sodio es principalmente utilizado en la industria de alimentos, como agente neutralizante de diversos procesos y como reactivo en la producción de jabones y detergentes ⁸¹

⁸¹ GASKUE IMANOL, Producción de carbonato sódico, proceso solvay, 2012, [Consultado el 3 de Agosto de 2018], disponible en: <<http://www.ingenieriaquimica.net/articulos/294-produccion-de-carbonato-sodico-proceso-solvay>>

4.2 EVALUACIÓN DE AGENTES NEUTRALIZANTES SELECCIONADOS

4.2.1 Desarrollo experimental. En el siguiente apartado se realizaron reacciones de neutralización para el lixiviado de carbón mediante el uso de los agentes neutralizantes seleccionados (hidróxido de sodio, cal, bicarbonato de sodio), como respuesta a este proceso se calcularon volúmenes de dosificación para cada concentración de agente neutralizante alcanzando un pH promedio de 7.

4.2.2 Metodología.

4.2.2.1 Toma de las muestras de lixiviado de carbón.

- Se tomaron muestras de 5 galones de lixiviado de carbón del canal de lixiviado a las 8:00 am y 1:00 pm de los días seleccionados para realizar la experimentación, los cuales corresponden a los mismos días en que se llevó a cabo la segunda caracterización (véase Cuadro 7.)

4.2.2.2 Calculo de acidez y pH.

- Las determinaciones de acidez y pH corresponden a las que se realizaron durante la caracterización (véase 3.4.2).

4.2.2.3 Preparación de las concentraciones de neutralizantes. Las concentraciones se prepararon tomando como referencia las concentraciones (molares) máximas y mínimas encontradas en la literatura para cada neutralizante usado en el tratamiento de drenajes ácidos (ANEXO C). Se aplicó el método estadístico de rangos medios⁸² para establecer las concentraciones a preparar de cada neutralizante.

- Para el hidróxido de sodio se prepararon concentraciones de 18.22M, 15.63M, 13.04M, 7,86M, 2,5M
- Para el Bicarbonato de sodio se prepararon concentraciones de 1M, 0.7M, 0.5M, 0.3M, 0.1M
- Para el Hidróxido de calcio se prepararon concentraciones de 23,67M, 21,85M, 20M, 18M, 16,41M

⁸² BARRIOS FRANCISCO, Control estadístico de los procesos, ED. Fundación Confemetal, 2005, p. 379

Las concentraciones se prepararon partiendo de la concentración disponible más alta de cada uno de los neutralizantes: NaOH (18,22M), Ca (OH)₂ (23,26M) y NaHCO₃ (1M), se utilizó un factor de dilución calculado por la ecuación 10⁸³.

Ecuación 10. Factor de dilución

$$C1 \cdot V1 = C2 \cdot V2$$

Donde:

C1=Concentración al inicio del neutralizante

V1=Volumen inicial del neutralizante

C2=Concentración de neutralizante que se requiere preparar

V2=Volumen final

A continuación se muestra un ejemplo de la ecuación 10, con la dilución de 100ml hidróxido de sodio desde una concentración de 18,22M a una de 15,63M.

Datos iniciales

C1= 18,22M (concentración inicial de NaOH)

C2= 15,63M (concentración final que se requiere preparar)

V1=100ml (Volumen inicial de NaOH)

$$C1 \cdot V1 = C2 \cdot V2$$

$$\frac{(18,22M) \times (100ml)}{15,63M} = V2$$

$$V2 = 116,57ml$$

$$V_{H2O} = (116,57ml - 100ml)$$

$$V_{H2O} = 16,57ml$$

V2 indica el volumen final en el que la solución tendrá la concentración de 15,63M, es decir, el volumen que hay que añadir de agua destilada para diluir 100ml de NaOH al 18,22M, a una concentración de 15,63M es de 16,57ml.

⁸³ CARDÉ, JUAN, Universidad adventista de las Antillas, Diluciones, 2012 p. 1 [Consultado el 3 de Agosto de 2018] disponible en: <<https://es.scribd.com/doc/53399019/Diluciones>>

Este procedimiento se realizó para preparar las concentraciones de cada neutralizante.

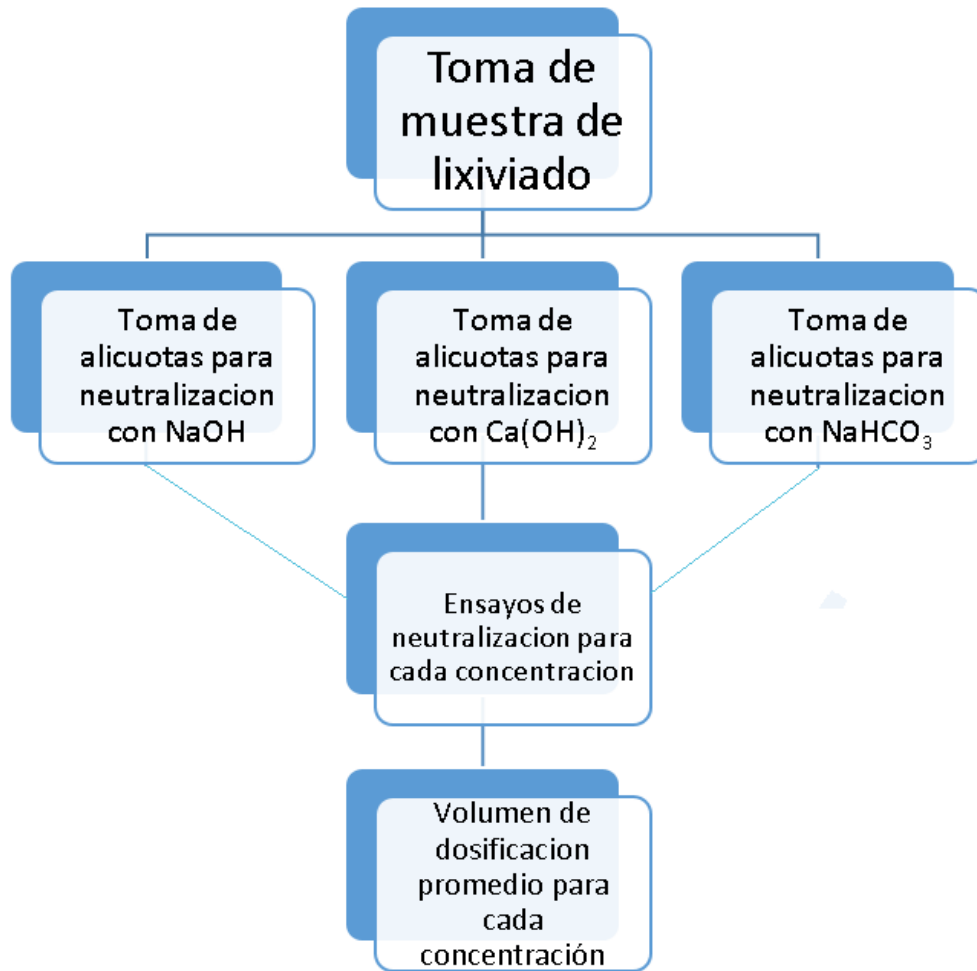
4.2.2.4 Neutralización y cálculo de los volúmenes de dosificación. El siguiente procedimiento fue llevado a cabo para cada uno de los neutralizantes y para cada una de las concentraciones de estos mismos, en cada uno de los días de la caracterización.

- A partir de la muestra de 5 galones de lixiviado de carbón tomada manualmente y envasada en un recipiente plástico, se tomó 1 alícuota de 600 ml, para posteriormente realizar una titulación mediante el uso de una bureta de 10 ml marca BRAND™.
- La alícuotas fueron repartidas en 3 volúmenes iguales de 200 ml, dispuestos en beakers de 200ml marca BOECO™.
- Se llevaron a cabo 3 titulaciones de las alícuotas tomadas con el neutralizante, con el objetivo de llegar a un pH de 7 medido mediante el equipo pH metro HI 991001 marca HANNA que opera mediante un método potenciométrico⁸⁴.
- Se llevaron a cabo 3 titulaciones con el objetivo de desarrollar un análisis de repetibilidad⁸⁵.
- Se calcula un volumen de dosificación promedio para cada ensayo
A continuación en la Figura 25 se muestra resumido el procedimiento llevado a cabo durante cada una de los días de experimentación (días correspondientes a los que se realizó la caracterización).

⁸⁴BRUNATTI , CARLOS Métodos potenciométricos, Universidad de Buenos Aires, 2006, p. 2

⁸⁵ICONTEC, Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayos y calibración, NTC ISO/IEC 17025 ,2005, p. 18

Figura 25. Procedimiento para encontrar los volúmenes de dosificación



Fuente: elaboración propia

4.3 RESULTADOS

Los resultados corresponden a las curvas de neutralización (pH vs volumen de dosificación) para cada concentración de cada agente neutralizante obtenida de los datos de la experimentación (ANEXO C).

Cada punto en la curva de neutralización indica el volumen de dosificación de agente neutralizante necesario para neutralizar el lixiviado de carbón a ese valor de pH.

Las gráficas se realizaron ordenando los datos de menor a mayor para mostrar más fácilmente el aumento del volumen de dosificación a medida que el pH disminuye.

4.3.1 Hidróxido de sodio. Las curvas de neutralización en la gráfica 4 muestran la variación del pH respecto al volumen de dosificación, en donde a mayor pH menor volumen de dosificación y viceversa. En este caso con un pH de 2,07 de la muestra (figura 26) de lixiviado se requieren 2,87 ml de Hidróxido de sodio (18,22M) para alcanzar un pH cercano a 7.

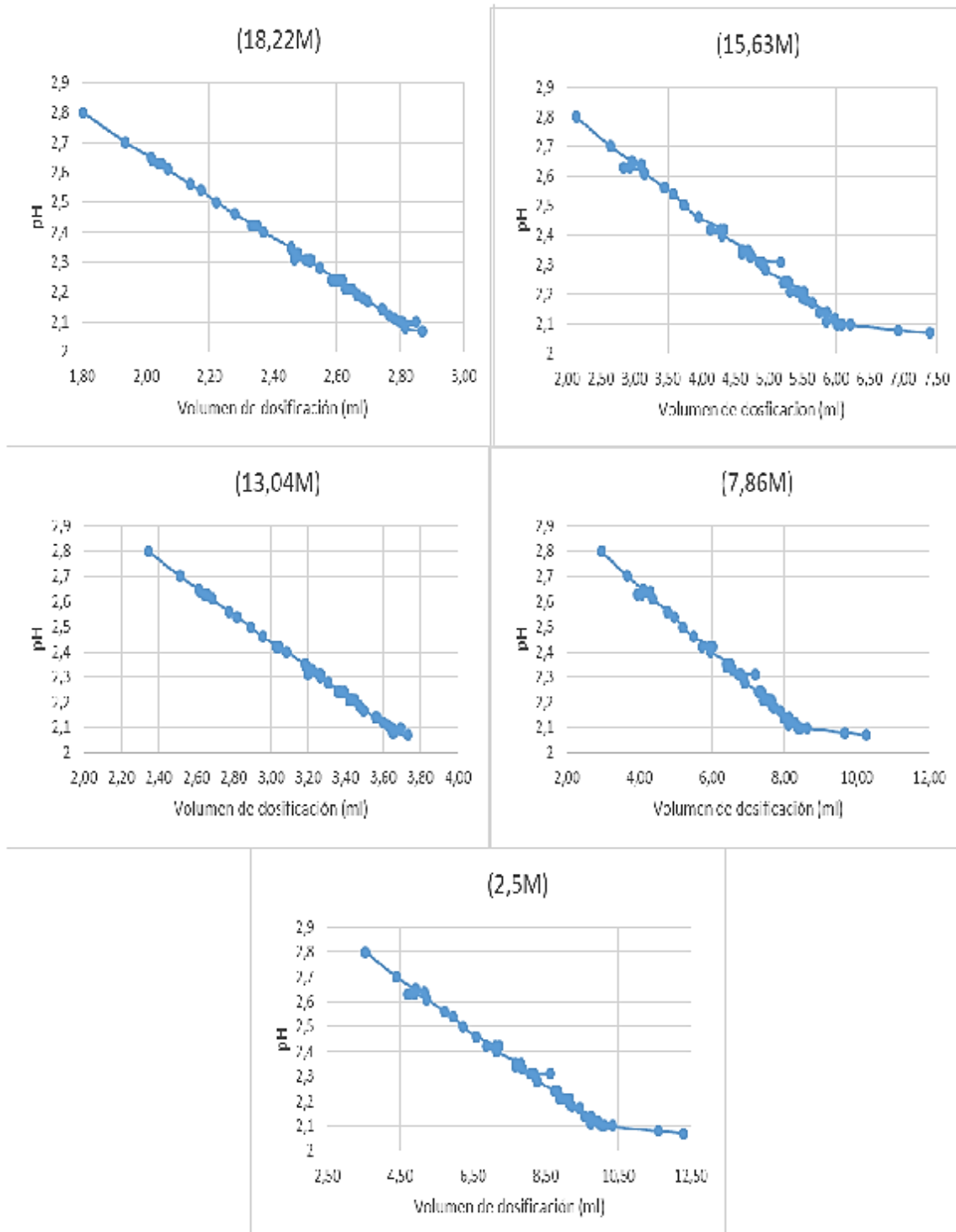
Figura 26. Muestra de lixiviado neutralizado con NaOH (48%)

Muestra tratada el 7/12/2017 9:00 am



Fuente: elaboración propia

Grafica 4. Curvas de neutralización para el NaOH



Fuente: elaboración propia

4.3.2 Hidróxido de calcio. Las curvas de neutralización en la gráfica 5 muestran la variación del pH respecto al volumen de dosificación, en donde a mayor pH menor volumen de dosificación y viceversa. En este caso con un pH de 2,8 de la muestra de lixiviado se requieren 6,79 ml de cal (23,67 M) para alcanzar un pH cercano a 7 (Figura 27.).

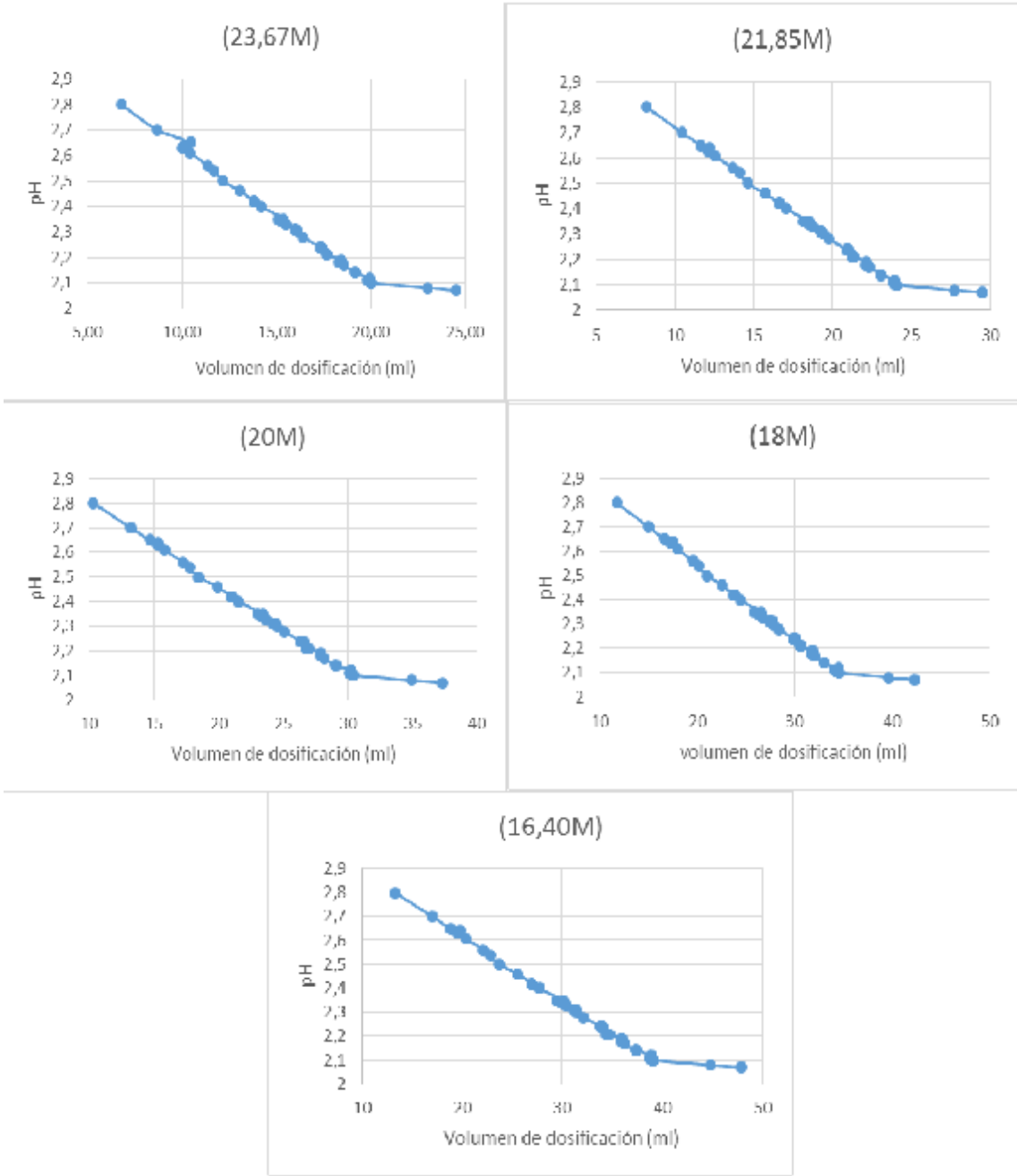
Figura 27. Muestra de lixiviado neutralizada con Cal (23,67M)

Muestra tratada el 7/12/2017 10:00 am



Fuente: elaboración propia

Grafica 5. Curvas de neutralización para la cal



Fuente: elaboración propia

4.3.3 Bicarbonato de sodio. Las curvas de neutralización en la gráfica 6, muestran la variación del pH respecto al volumen de dosificación, en donde a mayor pH menor volumen de dosificación y viceversa. En este caso con un pH de 2,8 de la muestra de lixiviado se requieren 33,51 ml de bicarbonato de sodio (1M) para alcanzar un pH cercano a 7 (Figura 28.).

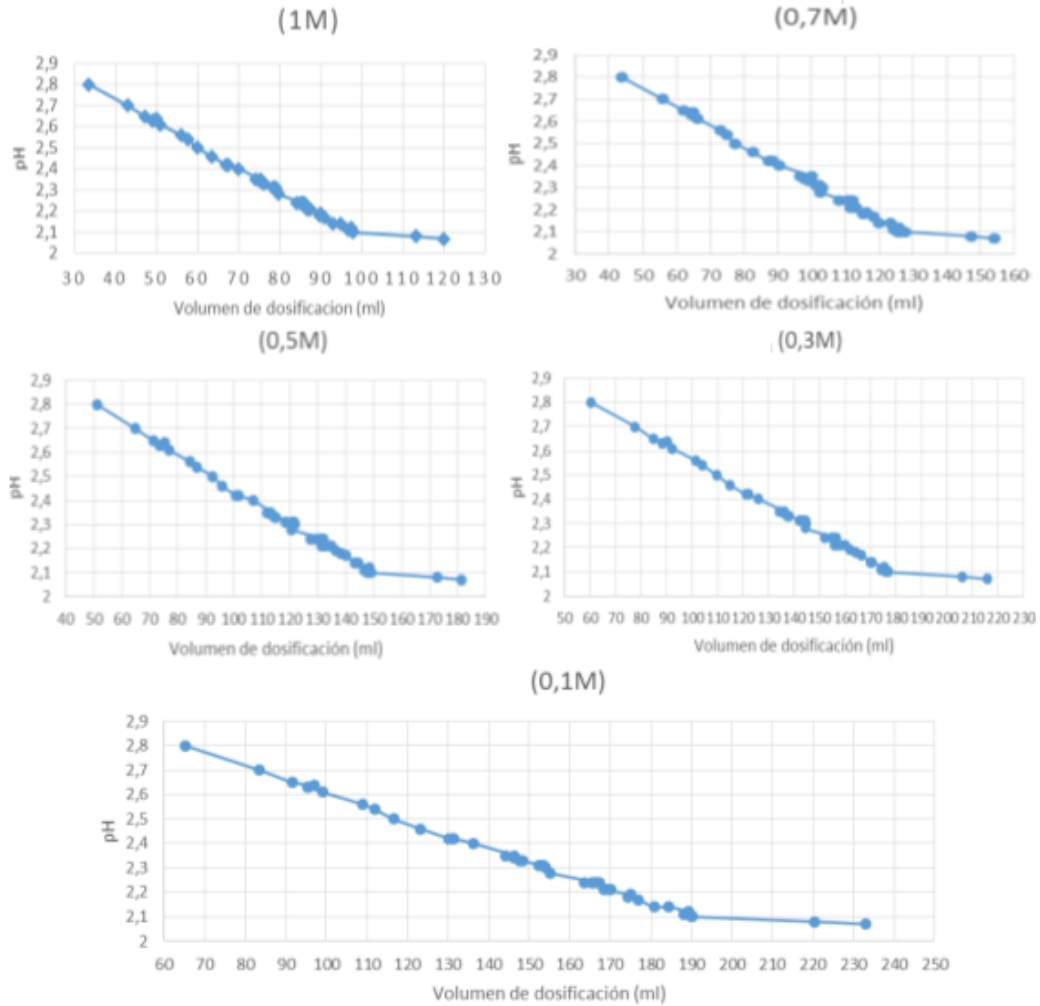
Figura 28. Muestra de lixiviado neutralizada con Bicarbonato de sodio (1M)

Muestra tratada el 7/12/2017 11:00 am



Fuente: elaboración propia

Grafica 6. Curvas de neutralización para el NaHCO_3



Fuente: elaboración propia

4.3.4 Volúmenes máximos y mínimos de dosificación. Como síntesis de las gráficas anteriores, a continuación en las tablas 3,4 y 5 se resume para cada neutralizante los volúmenes de dosificación límite (volúmenes de dosificación para el pH más alto y el pH más alto determinado en la caracterización) para cada concentración, esto se realiza con el fin de llevar a cabo un mejor análisis de resultados para la selección del agente neutralizante.

El volumen de dosificación en los siguientes cuadros corresponde a la intersección entre el valor de pH y el de concentración de neutralizante, por ejemplo, en el tabla 3 para un pH de 2,8 se requieren 1,86ml de NaOH (8,22M) para neutralizar el lixiviado de carbón.

Tabla 2. Volúmenes de dosificación límite de NaOH.

Volúmenes de dosificación de hidróxido de sodio					
pH/concentración neutralizante	18,22M	15,63M	13,04M	10,45M	7,86M
2,8 (alto)	1,86ml	2,07ml	2,35ml	2,87ml	3,44ml
2,07 (bajo)	2,87ml	3,30ml	3,73ml	4,57ml	5,48ml

Fuente: elaboración propia

Tabla 3. Volúmenes de dosificación límite de Cal.

Volúmenes de dosificación hidróxido de calcio					
pH/concentración neutralizante	23,67M	21,85M	20M	18M	16,41M
2,8 (alto)	6,79ml	8,18ml	10,31ml	11,71ml	13,24ml
2,07 (bajo)	24,51ml	29,52ml	37,31ml	42,31ml	47,92ml

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Volúmenes de dosificación límite de NaHCO₃.

Volúmenes de dosificación bicarbonato de sodio					
pH/concentración neutralizante	1M	0,7M	0,5M	0,3M	0,1M
2,8 (alto)	33,51ml	43,67ml	51,15ml	60,32ml	65,22ml
2,07 (bajo)	119,78ml	154,12ml	181,46ml	215,33ml	233,10ml

Fuente: elaboración propia

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El bicarbonato de sodio es el neutralizante con mayores volúmenes de dosificación con un volumen de 119,78ml para un pH de 2,07 en su máxima concentración (1M) en comparación al NaOH (6,44ml) y cal (24,51ml). Esto se debe principalmente a las características como base débil por tener en su composición el ion HCO_3^- proveniente del ácido carbónico H_2CO_3 ⁸⁶, por otra parte, el bicarbonato de sodio presenta una solubilidad completa en el agua debido a su ion HCO_3^- , con un valor aproximado de 9,6g $\text{NaHCO}_3/100\text{gH}_2\text{O}$ ⁸⁷, por lo cual no hay una alta disponibilidad de iones HCO_3^- para formar precipitados de hierro.

El hidróxido de sodio es el mejor agente neutralizante en cuanto a volumen de dosificación, con una dosificación de 2,87ml en su concentración más alta para el pH más bajo, además de que sus características como base fuerte⁸⁸ permiten una completa neutralización de los iones Fe^{+2} y Fe^{+3} presentes en el lixiviado, por lo cual el pH obtenido luego de la neutralización no se va a ver afectado por reacciones posteriores dada la completa reacción de las especies ácidas con el volumen de dosificación calculado, a diferencia de la literatura⁸⁹ en donde no se emplea un volumen específico de NaOH y el pH aumenta en los días posteriores del tratamiento.

La cal es sin duda un excelente agente neutralizante al igual que el NaOH, como se puede observar en sus volúmenes de dosificación, además, es el agente neutralizante con el menor precio del mercado (Cuadro 8), sin duda, es un gran reemplazo en cuanto a gasto de reactivo como precio de compra, sin embargo, la cal presenta una alta generación de lodos y una menor eficiencia de neutralización respecto al hidróxido y el bicarbonato.

En cuanto a las curvas de neutralización, se observa un comportamiento lineal, en donde a medida que aumenta el pH el volumen de dosificación aumenta hasta llegar a un pH de 6-7 en donde la gráfica representa una constante, la cual indica el punto final de neutralización.

⁸⁶ HERNAN, GUERRERO, El pH, Sociedad acuariologica del plata, 2006, [Consultado el 3 de agosto de 2018], disponible en: < http://www.sadelplata.org/articulos/guerrero_060901.html>

⁸⁷ QUIMINSA S.A, Ficha técnica, Bicarbonato de sodio, p. 2

⁸⁸ GONZALEZ, MONICA, Base fuerte, 2010, [Consultado el 3 de agosto de 2018], disponible en: < <https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/base-fuerte>>

⁸⁹ GOICOCHEA WALTER, tratamiento de aguas ácidas provenientes del PAD de lixiviación con NaOH-almidon; en cia minera sipan sac, durante cierre ambiental. distrito de Ilapa, Cajamarca, Universidad Nacional de Trujillo, 2013, Perú, p. 21

4.4.1 Selección del mejor agente neutralizante. El agente neutralizante más indicado para el tratamiento de lixiviado de carbón en la central Termozipa se realizó tomando en cuenta los siguientes factores:

- volúmenes de dosificación máximos y mínimos para cada concentración de agente neutralizante (Cuadros 11,12,13)
- costo agente neutralizante

Tomando como referencia el valor actual del NaOH comprado en la empresa y los precios de NaHCO₃ y cal enunciados en el cuadro 8, se realizó el siguiente cuadro (Cuadro 10) donde se compara el precio de cada neutralizante, según lo que se necesitaría para neutralizar un metro cubico de lixiviado de carbón (medida que se usa como punto de comparación debido a que se utiliza un tanque de NaOH de 1m³ en el tratamiento actual)

Cuadro 10. Comparación de costos de neutralización a 200ml y 1000L para cada agente neutralizante

Agente neutralizante	Costo por mililitro (COP)	Muestra de lixiviado de 0,2L		Muestra de lixiviado de 1000L	
		Volumen de dosificación(ml)	Precio (COP)	Volumen de dosificación (ml)	Precio(COP)
NaOH (18,22M)	2,74	2,87	7,85232	14350	39262
Cal (23,67M)	0,89	24,51	\$ 22	122550	109070
NaHCO ₃ (1M)	0,71	119,78	\$ 85	598900	425219

Fuente: elaboración propia

Los cálculos se hicieron tomando únicamente los volúmenes de dosificación de las concentraciones más altas de agentes neutralizantes utilizadas para neutralizar el lixiviado con el pH más bajo.

El costo por mililitro se calculó tomando como factor de conversión la densidad⁹⁰ de cada compuesto así:

Ejemplo, para el hidróxido de sodio:

- 1 kilogramo vale \$1800
- La densidad del NaOH al 48%(18,22M) es de 1,52 g/ml

⁹⁰FAO, (Food and Agriculture Organization), Density database, 2012, [Consultado el 3 de agosto de 2018], disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/017/ap815e/ap815e.pdf>>

$$\frac{\$1800}{1kg} * \frac{1kg}{1000g} * \frac{1,52g}{ml} = \frac{\$ 2,736}{ml}$$

El hidróxido de sodio presenta el costo más bajo debido a un menor volumen de dosificación como se observa en el cuadro 14, sin embargo, la cal se encuentra en una baja concentración respecto a la mencionada en la literatura donde se afirma una mejor neutralización y un menor costo⁹¹, el bicarbonato en cambio, aunque su costo inicial es menor, los volúmenes de dosificación son realmente altos en comparación a los demás agentes neutralizantes.

La cal presenta una opción más económica que el hidróxido de sodio según varios artículos consultados (ANEXO C), sin embargo, en todos estos referentes la cal se utiliza como un lecho por el que pasa el lixiviado de carbón, opción poco viable debido a los altos costos de implementación y a las características del lixiviado de carbón y el canal como tal, por ello, se utilizó en disolución, lo cual añade un mayor costo al tener que preparar la solución neutralizante y requerir de un tanque agitado que generaría mayores costos por consumo de energía; En el caso del bicarbonato de sodio la literatura (ANEXO C) muestra ensayos de neutralización para aguas acidas preparadas a nivel laboratorio y no hay evidencia de su uso en plantas de tratamiento de aguas acidas, además su eficiencia de neutralización es la menor entre los 3 agentes neutralizantes, por otra parte, el bicarbonato a una concentración mayor puede presentar mejores resultados, pero se generarían más costos por la necesidad de agitación debido a que una concentración mayor a 1M presenta una solución sobresaturada⁹²

En síntesis, se seleccionó el hidróxido de sodio como el mejor agente neutralizante por estas razones:

- 1) Alta disponibilidad (La empresa cuenta con un proveedor de NaOH 48% de pureza para su uso en la planta desmineralizadora).
- 2) Alta eficiencia (observada a nivel experimental y consultada en la literatura la eficiencia del NaOH es la mejor entre los 3 agentes seleccionados).
- 3) Fácil implementación (No requiere agitación, solamente presenta riesgos en su manejo⁹³).

⁹¹ LOTTERMOSER, BERND , Mine wastes, active treatments, ED Pearson, 2010, p. 184

⁹²QUIMINSA S.A. Op.cit., p. 3

⁹³ATSDR. Op.cit., p. 4

- 4) Costo (En comparación a los otros neutralizantes, los bajos volúmenes de dosificación disminuyen ostensiblemente los costos globales del proceso).
- 5) Bibliografía (La literatura presenta una mayor cantidad de información para procesos de neutralización con NaOH a diferencia de la cal y bicarbonato).
- 6) Automatización (Con alta disponibilidad de información y diferentes variables conocidas durante la experimentación, la automatización de un proceso de neutralización integrado a una planta de tratamiento es una opción viable⁹⁴).

⁹⁴ VILCA, CARLOS. Diseño y modelamiento de una planta de tratamiento de aguas acidas en la unidad minera iscaycruz-oyon. mercedes, Universidad Nacional de San Agustín, Perú, 2015 p. 12

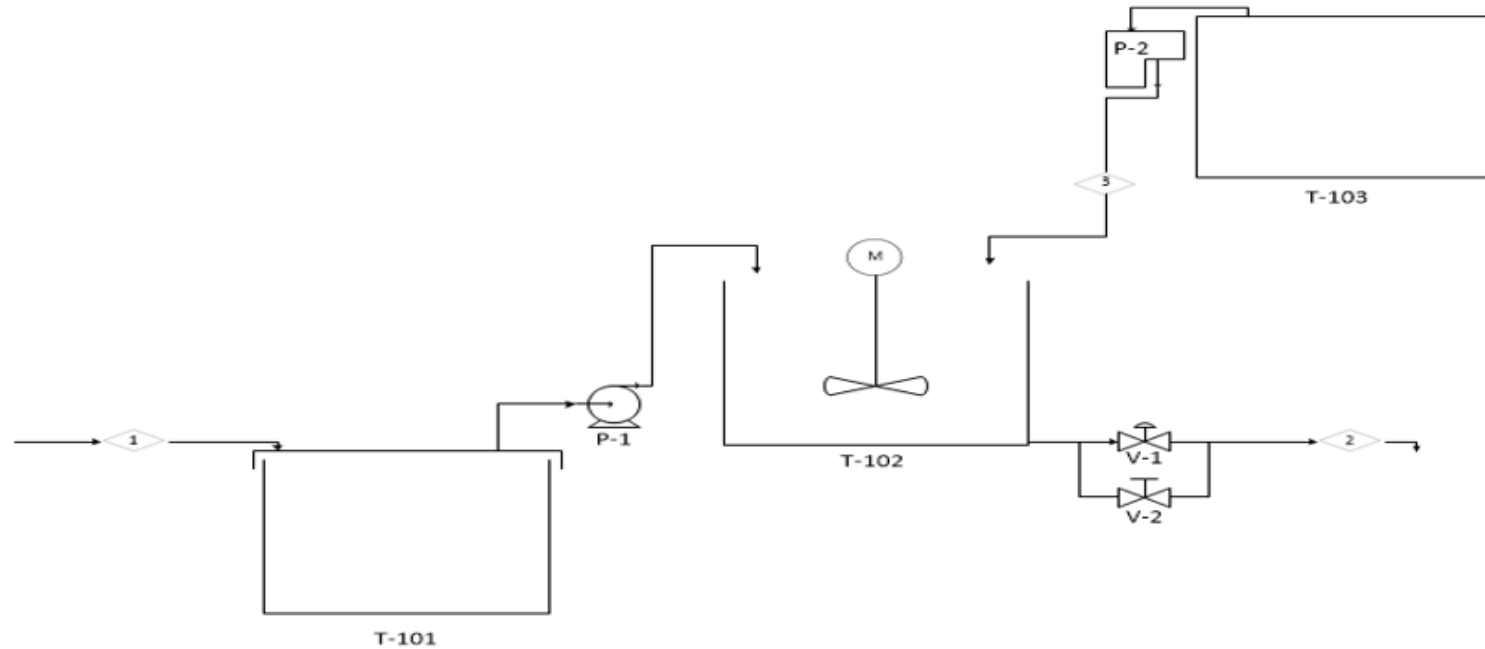
5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y CONTROL DEL SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN DEL LIXIVIADO DE CARBÓN

En el siguiente capítulo se planteó la implementación de un sistema de neutralización para el tratamiento del lixiviado de carbón de la central Termozipa. El sistema de neutralización propuesto se desarrolló en 3 etapas: En primer lugar se presentó el diagrama de proceso (PFD) del sistema de neutralización propuesto, a partir de este, se determinaron los equipos necesarios para el sistema y luego, mediante balances de materia se determinaron las especificaciones técnicas (volumen, caudal de operación, diámetro de tubería) de los equipos; Posteriormente, se realizó un diagrama de control e instrumentación (P&ID) para establecer los lazos de control necesarios para el funcionamiento del sistema de neutralización; Finalmente, se realizó un diagrama de control eléctrico para establecer el funcionamiento eléctrico y la automatización del sistema.

5.1 DIAGRAMA DE PROCESO DEL SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN PROPUESTO.

A continuación, se muestra el diagrama de proceso del sistema de neutralización propuesto en donde se observa el funcionamiento del sistema junto con los equipos necesarios para neutralizar el lixiviado de carbón de la central Termozipa.

Figura 29. Diagrama de proceso (PFD) del sistema de neutralización.



Corriente	Descripción
1	Lixiviado de carbón
2	Lixiviado de carbón tratado
3	Hidróxido de sodio

Equipo	Descripción
T-101	Tanque almacenamiento de lixiviado de carbón
T-102	Tanque de agitación
T-103	Tanque de NaOH
P-1	Bomba centrífuga
P-2	Bomba dosificadora
V-1	Electroválvula
V-2	Válvula manual

Fuente: elaboración propia

5.1.1 Descripción del sistema de neutralización. El sistema de neutralización cuenta con 4 tanques: Tanque de almacenamiento de lixiviado de carbón (T-101), tanque de agitación (T-102), tanque de almacenamiento de NaOH (T-103) y Tanque de almacenamiento de lixiviado de carbón (T-104), 1 bombas centrífuga (P-1) ,1 bomba dosificadora (P-2) 1 motor de agitación (M), 1 agitador, 1 Electroválvula V-1 ,1 válvula manual V-2.

El Funcionamiento del sistema de neutralización es el siguiente:

El lixiviado de carbón(corriente 1) entra al tanque T-101 donde se almacena hasta hacer contacto con un sensor de nivel en la parte superior del tanque T-101 ,lo cual, activara la bomba P-1, que transporta el lixiviado de carbón al tanque T-102; el lixiviado de carbón se almacenara en el tanque T-102 hasta hacer contacto con un sensor de nivel en la parte superior del tanque, donde, se desactiva la bomba P-1 y se efectuara la activación del agitador y la dosificación del neutralizante (determinada dependiendo de la lectura del sensor de pH en el tanque T-102) ,posteriormente, luego de un tiempo de retención (ANEXO F) en el tanque T-102, se activa la electroválvula V-1, donde, se desocupa el tanque T-102 generando la corriente 2 del lixiviado de carbón tratado.

5.1.2 Dimensionamiento de equipos para el sistema de neutralización del lixiviado de carbón. Para seleccionar los equipos adecuados para la implementación del sistema de neutralización del lixiviado del carbón se necesita realizar un balance de materia para determinar especificaciones de operación del sistema como el caudal de bombas y el volumen de los tanques.

5.1.2.1 Balance de materia del sistema. A continuación, se realiza el balance de materia partiendo del caudal de entrada de lixiviado de carbón, con lo cual, se establecen los volúmenes para T-102 y T-103 y los caudales requeridos para la selección de las bombas. El balance se realizará tomando la condición más critica que corresponde a la precipitación más alta presentada en la central Termozipa (44mm) según los registros de pluviometría (ANEXO B).

- **Calculo del caudal de entrada del sistema**

El tanque de almacenamiento de lixiviado T-101 recoge las aguas acidas provenientes del patio de carbón de la central Termozipa (canal de lixiviado), este se diseñó teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Nivel de precipitación de aguas lluvias
- Coeficiente de escorrentía del carbón

Para el cálculo del tanque de almacenamiento de lixiviado, se requirió calcular el caudal máximo de lixiviado en base a la máxima precipitación.

Este caudal se calculó utilizando el método racional⁹⁵, el cual es un método aproximado que tiene en cuenta el nivel de precipitaciones de lluvia, la escorrentía que se presenta en las pilas de carbón y el área total del patio de carbón.

El caudal de lixiviado se calculó con el método racional con la siguiente ecuación:

Ecuación 11. Método Racional

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6}$$

Donde:

Q= caudal generado por la precipitación en m³/seg.

C= coeficiente de escorrentía.

I= Intensidad de precipitación (mm/hora), estimada según los datos de pluviometría

A= área superficial del patio de carbón (Km²).

3.6 es un factor de conversión que resulta de la conversión de horas a segundos (para la precipitación) y kilómetros a metros (para el área del patio de carbón)

Como el caudal calculado corresponderá a una variable de diseño del tanque de almacenamiento, la precipitación que se utilizó corresponde a la mayor registrada hasta el momento en la central Termozipa.

⁹⁵ SANCHEZ, Javier. Hidrología superficial (III), relación precipitación-escorrentía, Universidad de Salamanca, 2013, p. 4

Para este caso los valores para la Ecuación 11 son:

$C = 0,6$ (suelo industrial⁹⁶)

$I = 44\text{mm}/12 \text{ horas}^* = 3,66 \text{ mm/hora}$

$A = 0,56 \text{ Km}^2$

Reemplazando:

$$Q = \frac{(0,6) * \left(3,66 \frac{\text{mm}}{\text{hora}}\right) * (0,056 \text{ Km}^2)}{3,6}$$

$$Q = \underline{0,03416 \text{ m}^3/\text{s}}$$

*La precipitación máxima registrada se dividió entre 12, debido a que esta es la frecuencia con la que se registra el nivel de precipitación en la central Termozipa.

0,03416 m³/s corresponde al valor estimado de caudal máximo para el lixiviado de carbón calculado mediante el método racional con la mayor precipitación registrada en 15 años en la central Termozipa (44mm).

➤ **Dimensionamiento de los equipos mediante el balance de materia del sistema de neutralización para la precipitación lluviosa más alta.**

Con un flujo de entrada de lixiviado de carbón calculado para la precipitación más alta (44mm) se realiza un balance de materia en los tanques T-101 y T-102 para un completo dimensionamiento de todos los equipos del sistema de neutralización.

⁹⁶MOSCOSO William, Análisis de la relación entre variables hidrometeorológicas y zonas inundables por medio de sistemas inteligentes artificiales en un tramo del río Bogotá comprendido entre estaciones de puente Florencia (Gachancipá) y Tocancipá,, Universidad de la Sabana, 2014, p. 40

Balance en T-101:

El caudal de entrada Q_{p1} (caudal de proceso 1) corresponde al calculado anteriormente en el método racional expresado en minutos:

$$\frac{0,03416 \text{ m}^3}{\text{s}} * \frac{60\text{s}}{1 \text{ min}} = 2,0496 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

El caudal Q_{p2} (caudal de proceso 2, que corresponde al lixiviado de carbón transportado por la bomba P-1 de T-101 a T102) se calculó de la siguiente manera:

- Se seleccionó un volumen de procesamiento del tanque de agitación T-102 para tratar el lixiviado de carbón de 1m^3 (Volumen del isotanque disponible en la empresa para este proyecto)
- Se encontró que el tiempo de reacción en el tanque de agitación T-102 para que se lleve a cabo la neutralización es de 2 minutos (ANEXO F).
- El tiempo de retención es de 5 minutos, donde: 1 minuto corresponde al tiempo de llenado del tanque, 1 minuto corresponde al tiempo de dosificación de hidróxido de sodio, 2 minutos corresponden al tiempo de reacción y (1 minuto) corresponde al vaciado del tanque⁹⁷.

Con los anteriores parámetros se determinó el caudal de entrada al tanque de agitación (Q_{p2}), como $1\text{m}^3/5\text{min}$

Con Q_{p1} y Q_{p2} establecidos se procede a calcular el volumen del tanque necesario para almacenar el lixiviado de la siguiente manera:

- En primer lugar, para determinar el volumen del tanque, es necesario conocer cuánto se está acumulando en el tanque de lixiviado
- Para este caso se requiere un balance de materia para solucionar el problema de acumulación
- La ecuación de balance de materia⁹⁸ se aplica para estos casos y queda de la siguiente forma:

⁹⁷ GALVEZ, LUIS, Modelo Matemático para vaciado de Tanques, scientia et Technica Año XXII, Vol 22, núm. 1, 2017, p. 3

⁹⁸HIMMELBLAU, DAVID Principios básicos y cálculos en ingeniería química, Ed Prentice Hall, p. 604

Ecuación 12. Balance de materia para T-101.

$$\boxed{\text{Entradas} - \text{salidas} = \text{Acumulación}}$$

- No se tiene en cuenta el termino de generación y consumo porque no hay reacción química
- Q_{p1} y Q_{p2} se toman cada 5 minutos para operar en las mismas unidades y establecer un balance de materia continuo para el sistema de neutralización
- Reemplazando los términos en la ecuación

$$10,248 \frac{m^3}{5 \text{ min}} - 1 \frac{m^3}{5 \text{ min}} = 9,248 \frac{m^3}{5 \text{ min}} \rightarrow 1,8496 \frac{m^3}{\text{min}}$$

- 9,248 m³/min indica la acumulación en el tanque T-101 cada 5 minutos, por tanto, 1,8496 m³/min indica la razón por minuto en la que se acumula el lixiviado.
- Teniendo el valor de acumulación de lixiviado de carbón en el tanque se estima un periodo de precipitación de 1 hora para calcular el volumen del tanque.
- 1 hora que corresponde al tiempo de duración de una precipitación según los registros de pluviometría de la central Termozipa y los registros del IDEAM⁹⁹.

Con la acumulación calculada para el tanque T-101 se realiza la conversión por hora para determinar el volumen del tanque de almacenamiento de lixiviado T-101

$$1,8496 \frac{m^3}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 110,976 \text{ m}^3$$

- 110,976 m³ corresponde al volumen del tanque de almacenamiento de lixiviado calculado para 1 hora de precipitación continua con el valor más alto (44mm).
- Con un sobredimensionamiento de 20% el volumen del tanque es de 133,171 m³.

⁹⁹ IDEAM, Capitulo 28 Frecuencia e intensidad de la lluvia, 2014, pág. 2 [Consultado el 3 de Agosto de 2018), disponible en: <<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/012406/Cap28.pdf>>

Balance en T-102:

El caudal Q_{p3} (Caudal de proceso 3, que corresponde al caudal de hidróxido de sodio transportado por P-2 de T-103 a T-102) se calculó de la siguiente forma:

- Se usó como calculo base el mayor volumen de dosificación que corresponde a 2,87ml para un pH de 2,07.
- Se calcula la dosificación para $1m^3$ de lixiviado de carbón que corresponde al volumen del tanque de agitación T-102.
- El cálculo del volumen de dosificación sigue una relación lineal a un aumento del lixiviado de carbón (ANEXO D).
- Se calculó la dosis correspondiente para $1m^3$ de lixiviado de carbón partiendo de la dosis para 200ml:

$$\frac{2,87ml NaOH}{200ml lixiviado} \times \frac{1000ml lixiviado}{1L lixiviado} \times \frac{1000L lixiviado}{1m^3 lixiviado} = 14350 \frac{ml NaOH}{1m^3 lixiviado}$$

$$14350 \frac{ml NaOH}{1m^3 lixiviado} = 0,0143 \frac{m^3 NaOH}{1m^3 lixiviado}$$

- 0,0143 corresponde a la cantidad de hidróxido de sodio (48%) en metros cúbicos que debe adicionarse en el tanque para neutralizar 1 metro cubico de lixiviado de carbón con un pH de 2,07.
- La dosificación se adiciona en cuanto termina el llenado del tanque el cual se realiza cada 5 minutos.
- Con lo anterior el valor de Q_{p3} es de 0,0143 m³/5min.

El caudal Q_{p4} (caudal de proceso 4, que corresponde al caudal de salida del tanque T-102 vaciado por la apertura de la electroválvula v-1) se calculó siguiendo la ecuación de balance general donde no se presenta acumulación, generación y consumo:

Ecuación 13. Balance de materia para T-102.

$Entradas = salidas$

- Para el balance en T-102 los flujos de entrada y salida son continuos, no se presenta acumulación, generación y consumo debido a que la reacción de neutralización es completa y no se tienen en cuenta los lodos generados (por cuestiones de alcance del proyecto), además, el cambio de temperatura no es apreciable como se observó en los ensayos de agitación (ANEXO F).
- La ecuación 13 queda de la siguiente forma:

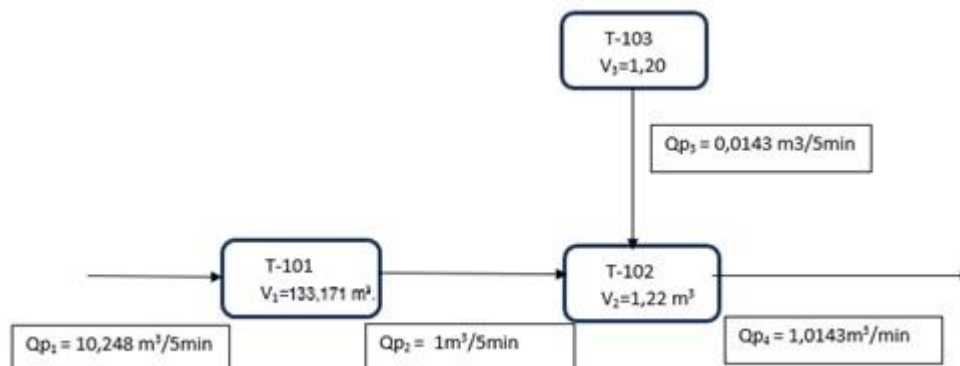
$$Q_{p2} + Q_{p3} = Q_{p4}$$

$$1 \frac{m^3}{5min} + 0,0143 \frac{m^3}{5min} = 1,0143 \frac{m^3}{5min}$$

De esta manera $Q_{p4} = 1,0143 m^3/min$.

A continuación, en la figura 30 se resumen los volúmenes y caudales calculados anteriormente para el sistema de neutralización:

Figura 30. Volúmenes y caudales del sistema de neutralización



Los volúmenes de T-102 y T103 están sobredimensionados 20%

Fuente: elaboración propia

Balance Global del sistema

- Para comprobar que el sistema se encuentra completamente balanceado y es un balance de materia continuo se realiza un balance global partiendo de la ecuación 12:

$$Entradas - Salidas = Acumulación$$

- Reemplazando:

$$Qp_1 + Qp_3 - Qp_4 = Acumulacion$$

$$10,248 \frac{m^3}{5min} + 0,0143 \frac{m^3}{5min} - 1,0143 \frac{m^3}{5min} = 9,248 \frac{m^3}{5min}$$

$$9,248 \frac{m^3}{5min} = 9,248 \frac{m^3}{5min}$$

- El sistema se encuentra correctamente balanceado
- **Dimensiones de los equipos del sistema de neutralización.**

A continuación (Tabla 6), se muestran los volúmenes calculados en m³ para los tanques T-101, T-102 y T-103, así mismo se muestran los caudales de operación en m³/h para las bombas P-1 y P-2 y el diámetro de la válvula calculado para el proceso (ANEXO E).

Tabla 5. Dimensiones de los equipos.

Equipo	Especificación técnica
T-101	133,171 m ³
T-102	1,22 m ³
T-103	1,20 m ³
P-1	1 m ³ /min
P-2	0,0143 m ³ /min
V-1	10 pulgadas

Fuente: elaboración propia

5.2 DIAGRAMAS DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE NEUTRALIZACION DE LIXIVIADO DE CARBON

Explicados los conceptos básicos necesarios para comprender un proceso automatizado, a continuación, se muestran los diagramas de control eléctrico y el diagrama de control instrumental para comprender el funcionamiento automático y manual para la operación del sistema de neutralización.

5.2.1 Diagrama de control e instrumentación (P&ID). A continuación, en la figura 31, se muestra el diagrama P&ID para el sistema de neutralización, este diagrama nos permite relacionar las corrientes (1, 2 y 3) del sistema con los diferentes equipos e instrumentos usados para el control del proceso.

Figura 31. Diagrama P&ID del sistema de neutralización propuesto

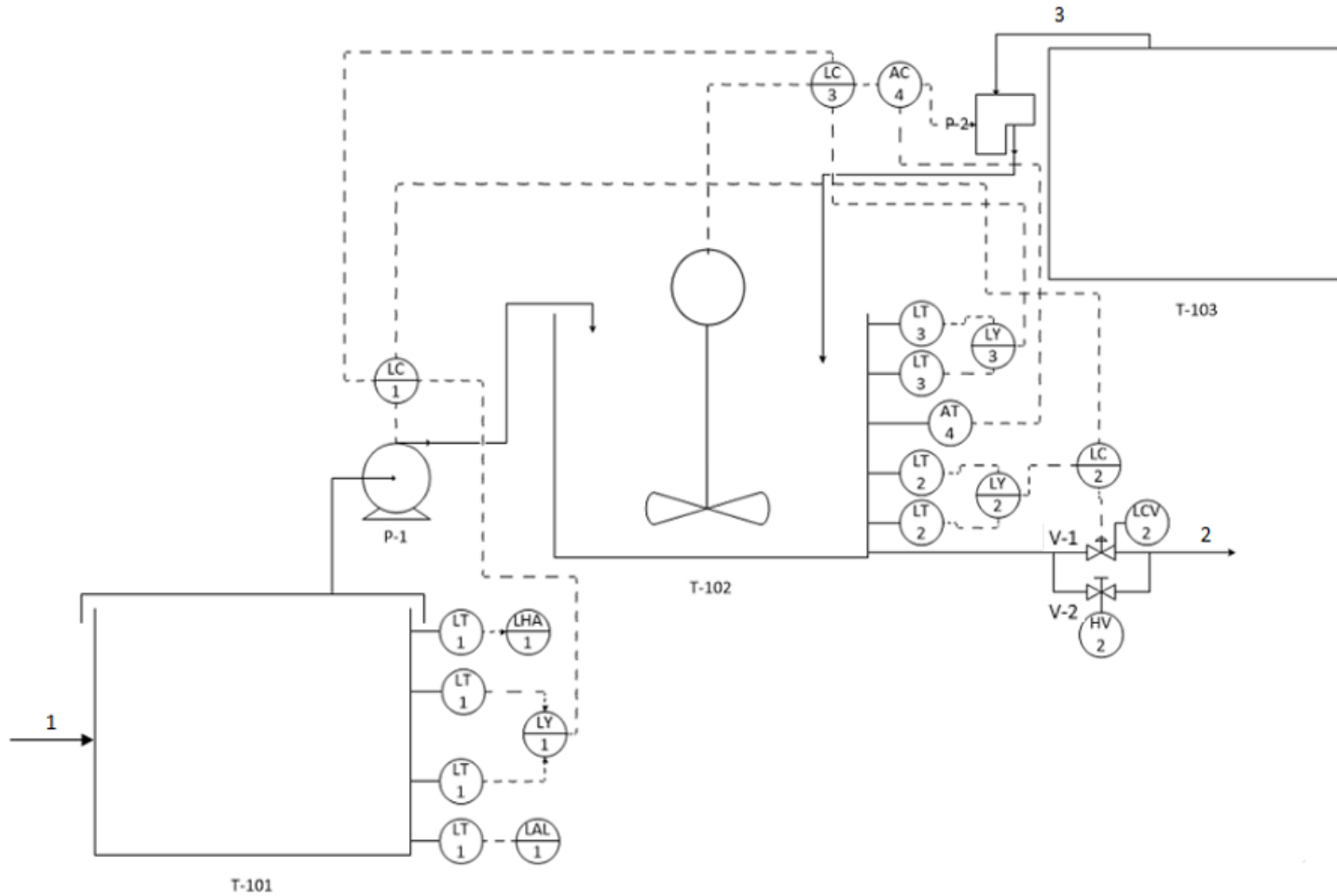


Figura 31. (Continuación).

Corriente	Descripción	Parámetros
1	Lixiviado de carbón	pH < 6
2	Lixiviado de carbón tratado	pH 6-7
3	Hidróxido de sodio	Pureza (48%)

Equipo	Descripción	Especificación Técnica
T-101	Tanque almacenamiento de lixiviado de carbón	133,171 m3
T-102	Tanque de agitación	1,22 m3
T-103	Tanque de NaOH	1,20 m3
P-1	Bomba centrífuga	1 m3/min
P-2	Bomba dosificadora	0,0143 m3/min
V-1	Electroválvula	10 pulgadas
V-2	Válvula manual	10 pulgadas

Instrumento	Descripción	Lazo
LC	Controlador de nivel	1,2 y 3
LT	Transmisor de nivel	1,2 y 3
LY	Convertidor de nivel	1,2 y 3
LAL	Alarma por bajo nivel	1
LHA	Alarma por alto nivel	1
AT	Transmisor de pH	4
AC	Controlador de pH	4
HV	Válvula manual	2
LCV	Electroválvula	2

Diagrama PI&D para el sistema de neutralización		
Elaborado por:	Héctor Eduardo Acero Camargo	Orlando Andrés Rubiano Barrera
Las corrientes 1, 2,3 se encuentran a temperaturas entre 17°C-20°C.		
La presión de entrada al sistema es de 1 atm.		
El sistema cuenta con 4 lazos de control.		

Fuente: elaboración propia

Para comprender el control planteado para el sistema de neutralización se explicará el funcionamiento de los lazos de control a continuación:

- El diagrama P&ID planteado para el sistema de neutralización de lixiviado de carbón cuenta con cuatro lazos de control de los cuales 3 lazos son cerrados y tiene como numero asignado de lazo 1, 2, y 3 y un lazo abierto el cual tiene el número 4.
- El lazo de control numero 1 relaciona los 4 transmisores de nivel ubicados en el tanque T-101, dos transmisores en la parte superior del tanque y dos en la parte inferior del tanque esto con el fin de que si un sensor deja de funcionar el otro permita que el proceso continúe evitando así detenciones inoportunas en el sistema de neutralización, además, cuenta con alarmas de alto nivel y bajo nivel.

Los transmisores de nivel envían la señal eléctrica a un convertidor de nivel, este envía la señal al controlador de nivel el cual actúa sobre la bomba P-1 permitiendo la activación o desactivación de esta. La activación de la bomba se da cuando el nivel del lixiviado de carbón que se acumula en el tanque sube hasta tocar los transmisores de nivel ubicados en la parte superior del tanque enviando lixiviado de carbón hacia el tanque T-102, la desactivación de la bomba se da cuando el nivel del lixiviado en el tanque T-101 disminuye hasta desactivar los transmisores ubicados en la parte inferior del tanque esto como medida de seguridad para que la bomba no se quemé por vacío.

- El lazo de control numero 2 tiene como función el cierre de la válvula de control V-1 y la activación de la bomba P-1. una vez el nivel del tanque T-102 disminuye hasta desactivar los transmisores de nivel ubicados en la parte inferior de este tanque, estos envían una señal eléctrica hacia el convertidor de nivel el cual, tiene la función lógica de permitir el envío de la señal eléctrica hacia el controlador de nivel cuando los dos transmisores se desactivan o ,en caso de que uno de los transmisores deje de funcionar ,esto con el fin de que el proceso siga su curso de control; La señal eléctrica sale del convertidor de nivel hacia el controlador de nivel el cual actúa sobre la válvula de control V-1 cerrándola, posteriormente, el controlador de nivel del lazo 2 envía una señal eléctrica hacia el controlador de nivel del lazo 1 y así activa la bomba P-1 para empezar un nuevo ciclo de neutralización.

- El Lazo de control numero 3 tiene como función la desactivación de la bomba P-1, la activación del motor agitador, y del controlador de pH. una vez se produce la activación de la bomba P-1 (ejecutada por el lazo de control numero 1) el tanque T-102 empieza a llenarse, cuando el nivel de lixiviado de carbón sube hasta activar los transmisores de nivel, ubicados en la parte superior del tanque T-102, los transmisores envían una señal eléctrica hacia el convertidor de nivel (el cual, tiene la función lógica del envío de la señal eléctrica hacia otro controlador de nivel, en caso de que los dos transmisores se activen o uno de ellos deje de funcionar , esto con el fin de que el proceso siga su curso de control). El convertidor de nivel envía la señal eléctrica hacia un controlador de nivel el cual envía una señal eléctrica hacia el controlador de nivel del lazo 1 y así desactivar la bomba P-1, otra señal es enviada hacia el motor agitador para permitir su activación, y otra señal es enviada hacia el controlador de análisis del lazo número 4 para así permitir la dosificación de soda caustica proveniente del tanque T-103. Pasado el tiempo de retención (calculado experimentalmente) se produce la desactivación del agitador, controlador de análisis (controlador de pH) y la apertura de la válvula de control V-1.

- El Lazo de control número 4 tiene como función él envío del set Point proveniente del transmisor de análisis (sensor de pH) hacia el controlador de análisis (controlador de pH) el transmisor de análisis determinará el pH del lixiviado de carbón y el controlador de análisis determina que cantidad de soda caustica será la dosificada por la bomba P-2 estos volúmenes de dosificación fueron calculados experimentalmente.

5.2.2 Diagrama de control eléctrico. En la figura 32 se puede apreciar el plano eléctrico de la etapa de neutralización del lixiviado de carbón que permite un control del sistema ya sea automático o local (manual). El plano permite reconocer mediante alarmas visuales de diferentes colores la activación de la bomba centrífuga, controlador de pH, agitador, electroválvula y sensores de nivel. En el anexo I se presenta el manual del plano eléctrico el cual permite conocer a detalle la función de cada una de las bobinas, contactos y alarmas visuales.

Las alarmas visuales están numeradas en el plano y se describen a continuación

1. Alarma visual por bajo nivel en el tanque (negro)
2. Alarma visual por bajo nivel (gris)
3. Alarma visual arranque de la bomba (rojo)
4. Alarma visual pare de la bomba (verde)
5. Alarma visual por alto nivel en el tanque (morado)
6. Alarma visual activación del controlador pH (amarillo)
7. Alarma visual activación del agitador (amarillo)
8. Alarma visual abertura electroválvula (azul)

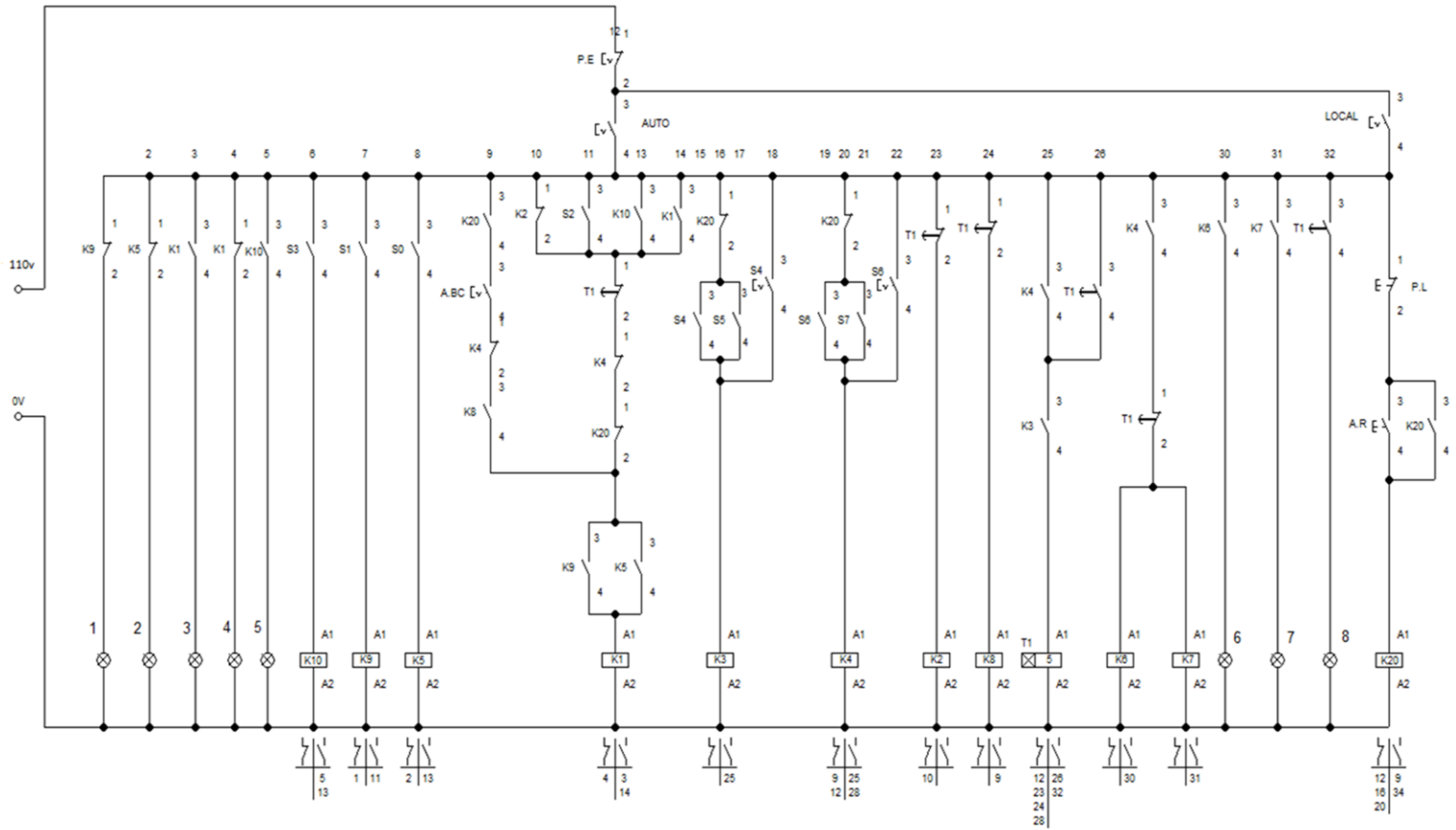
En el cuadro 16 se muestra la descripción de los símbolos encontrados en el plano para entender más fácilmente la automatización propuesta en este mismo.

Cuadro 11. Símbolos encontrados en el plano eléctrico

Símbolo	Descripción
S	Contactos sensores de nivel
k	Relés y contactos asociados a los relés
A.BC	Switch arranque bomba centrífuga
A.R	Pulsador arranque manual
T1	Temporizador y contactos asociados a el temporizador
P.E	Pulsador pare de emergencia
AUTO	Switch para servicio en automático
LOCAL	Switch para servicio en manual

Fuente: elaboración propia

Figura 32. Plano eléctrico para el control del sistema de neutralización

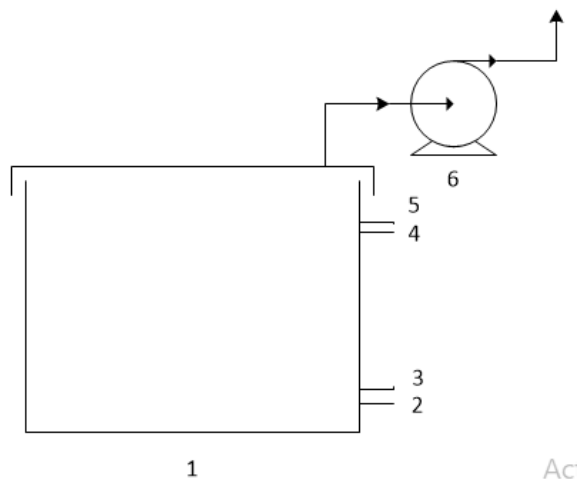


Fuente: elaboración propia

A continuación, se explica el diagrama de control eléctrico (Figura 32), para ello se explican las dos etapas en las que se estableció el control del proceso en los tanques T-101 y T-102.

5.2.2.1 Proceso de llenado y desocupado del tanque de almacenamiento de lixiviado de carbón. El tanque de almacenamiento de lixiviado de carbón contiene sensores de nivel (S0, S1, S2, S3 Y S4) el llenado de este tanque se da espontáneamente con la entrada de lixiviado de carbón del canal de lixiviado. Con el ingreso del lixiviado al tanque se activan los sensores S0, S1, S2, S3 Y S4 consecutivamente.

Figura 33. Control tanque T-101



1. Tanque de almacenamiento de lixiviado de carbón.
2. Sensor de nivel S0.
3. Sensor de nivel S1.
4. Sensor de nivel S2.
5. Sensor de nivel S3.
6. Bomba centrífuga.

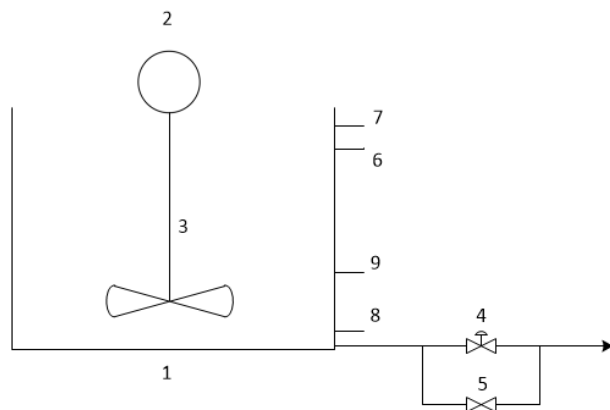
Fuente: elaboración propia

El sensor S0 es N.A (normalmente abierto) y tiene como función el respaldo del sensor S1 en caso de que este deje de funcionar y presentar alarma sonora y visual de color gris, luego se activa el sensor S1 , que es un sensor N.A, la desactivación de este sensor junto con el sensor S0 provoca la detención de la bomba centrífuga y así evita que se queme por vacío, también presenta

alarma sonora y visual de color negro cuando está inactivo, posteriormente, se activa el sensor S2, este sensor tiene un contacto N.A, con la activación de este contacto arranca la bomba centrífuga la cual está enviando fluido hacia el tanque de agitación, por último el sensor S4 es un sensor de seguridad para el arranque de la bomba, este envía alarma sonora y se activa únicamente en el caso de que el sensor S3 deje de funcionar.

5.2.2.2 Proceso de llenado y desocupado del tanque agitador. El tanque de agitación involucra los sensores de nivel, agitador, controlador de pH, sensor de pH y electroválvula.

Figura 34.Control tanque T-102



1. Tanque de agitación.
2. Motor del agitador.
3. Agitador.
4. Electroválvula.
5. Válvula manual.
6. Sensor de nivel S4.
7. Sensor de nivel S6.
8. Sensor de nivel S3.
9. Sensor de pH.

Fuente: elaboración propia

La bomba centrífuga permite el paso de lixiviado de carbón desde el tanque de almacenamiento de lixiviado de carbón hacia el tanque de agitación, el nivel de lixiviado en el tanque de agitación empezara a subir activando el sensor S4, el cual es un sensor de respaldo en caso de que S5 deje de funcionar, luego activara el sensor S5; El nivel del lixiviado seguirá subiendo hasta tocar los sensores S6 y S7 los cuales ejecutan la detención de la bomba centrífuga, la activación del motor del agitador y la activación del controlador de pH, que a su vez está asociado a la bomba peristáltica que dosifica el

NaOH requerido para la neutralización del lixiviado de carbón y a la activación del temporizador (con un tiempo de 2 minutos), cuando se desactive el temporizador se activara la electroválvula la cual permitirá la salida de la mezcla ya neutralizada, por lo cual el tanque empezara a perder nivel primero desactivando los contactos del sensor S6 y S7 y luego los contactos de los sensores S4 y S5 los cuales desactivaran la electroválvula para luego activar la bomba centrífuga de esta forma trabajara automáticamente el llenado del tanque de agitación.

5.3 SELECCIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS PARA EL SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN

En el siguiente apartado se muestran los equipos e instrumentos seleccionados para implementar el sistema de neutralización con sus respectivos costos (Cuadro 12.), explicando antes los criterios de selección respecto a las características del lixiviado de carbón y del hidróxido de sodio. No se tienen en cuenta instrumentos como relés y bobinas debido a que no se encuentran en el alcance propuesto del proyecto.

- **Sensores:** la selección de los sensores adecuados para el sistema de neutralización de lixiviado de carbón además de los costos tiene en cuenta el punto de ubicación dentro del sistema. Dado que en la base de los tanques se presentara acumulación de sólidos¹⁰⁰, esto implicara un sensor que se ajuste a estas características al contrario de la parte superior de los tanques donde no se presentara esta acumulación.

Con los criterios mencionados anteriormente, para la parte inferior de los tanques se utilizaran 4 sensores de tipo flotador magnético, dado sus características para medir nivel en fluidos con presencia de sedimentos, además de estar diseñados para permitir la protección de la bomba¹⁰¹ y para la parte superior se usaran sensores tipo flotador.

- **Bombas:** para la bomba P-1 se seleccionó una bomba según las características corrosivas, la bomba seleccionada es de acero inoxidable con una alta capacidad para grandes caudales a baja presión.

¹⁰⁰ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, glosario técnico minero, 2015, p. 11

¹⁰¹ STANDARD MENDER ELECTRONICS, Series Datasheet – LS01 Level Sensors, p. 1 [Consultado el 3 de Agosto de 2018], disponible en:<https://co.mouser.com/datasheet/2/262/datasheet_level_sensor_LS01-773699.pdf>

La bomba dosificadora P-2 se seleccionó teniendo en cuenta el caudal requerido y la resistencia a químicos corrosivos como el hidróxido de sodio.

- Tanques: el tanque T-101 corresponde a dos tanques de 100m³ (instalados en el subsuelo) hechos en fibra de vidrio resistentes a químicos corrosivos; La finalidad de usar 2 tanques con un volumen total de 200 m³ es que uno de ellos cumpla la función de tanque de respaldo, en caso de precipitaciones mayores a 44mm y duraciones de más de una hora.



El tanque T-102 corresponde a un isotanque de 1,4 m³ de polietileno de alta densidad seleccionado por su alta resistencia a la corrosión, bajo costo y disponibilidad por parte de la empresa.

Para el tanque T-103 se seleccionó un isotanque de 1,4 m³, en este caso se usará el mismo tanque utilizado en el tratamiento actual del lixiviado.

- Válvulas: Para V-1 se seleccionó una electroválvula resistente a la corrosión fabricada en acero inoxidable con accionamiento neumático que cumpla con el requerimiento de vaciar el tanque en un minuto.

Para V-2 se seleccionó una válvula manual tipo mariposa fabricada en acero inoxidable.


Cuadro 12. Costos y características de los equipos seleccionados para el sistema de neutralización.

Equipo	marca/ referencia	Cantidad	Imagen	Características	precio Total
Tanque de almacenamiento de lixiviado (T-101)	Dongying Tiancheng Building Materials Co., Ltd.	2		Tanque septico fabricado en fibra de vidrio para acopio de aguas residuales , cuenta con una capacidad de 100m3 cada uno	\$ 11.600.000
Tanque de agitacion (T-102)	Canecas pulido Isotanque de 1m3	1		Tanque de polietileno con capacidad de 1,4 m3, con resistencia a la corrosión.	\$ 942.000
Tanque de almacenamiento de hidroxido de sodio	Canecas pulido Isotanque de 1m3	1		Tanque 1,4 m3, fabricado en polietileno de alta densidad idela para todo tipo de fluido corrosivo	\$ 942.000

Cuadro 12. (Continuación).

Bomba centrifuga de 3,9 HP	Hidraulicas alsina S.A	1		Bomba centrifuga para tratamiento de aguas con capacidad de 60 m3/h y una altura maxima de trasiego de 8 m maneja un voltaje de 230V en monofasico y de 400v en trifasico.	\$ 4.054.438
Bomba de dosificacion de hidroxido de sodio (T-103)	pce-instruments DOSTEC-OS	1		Bomba dosificadora, resistente a quimicos corrosivos, con capacidad maxima de 1m3/h	\$ 2.488.071
motor agitador electrico	Shanghai Qilee Environmental Protection Equipment Co., Ltd. Agitador industrial Hce870	1		Agitador industrial con capacidad de agitacion de 0-350rpm, con dimensiones personalizables en cuchillas y tamaño maneja un voltaje de 220 a 380 v en AC.	\$ 1.678.740
Sensores de nivel	Mouser electronics Float sensor 59630	4		Sensor análogo con medición tipo flotador con contacto NA. Estos sensores son usados en la parte superior de los tanque de almacenamiento de lixiviado de carbón y agitación.maneja un voltaje de 200 a 300 v en AC o DC.	\$ 73.040
Sensores de nivel	Mouser electronics LS01 Series Level Sensors	4		Sensor análogo con medición de flotador magnético con contacto NA, ideal para fluidos con alta viscosidad. Estos sensores son usados en la parte inferior de los tanque de almacenamiento de lixiviado de carbón y agitación. Maneja un voltaje de 200 a 400 v en AC O DC.	\$ 274.664

Cuadro 12. (Continuación)

Sensores de pH	EMEC EPHSC	1		El sensor de pH seleccionado es de la marca EMEC es un sensor auto limpiante en material plástico tiene un rango de medida de 0 a 14. Este sensor se encuentra en el tanque de agitación y tiene como función la transmisión de información hacia el controlador de pH. 90 a 220 v AC.	\$ 1.720.000
Controlador de pH	EMEC LDPH	1		Cuenta con una resolución de 0,01 Und de pH, señal de salida proporcional 4-20 mA, alimentación eléctrica de 90 a 220V V AC, capacidad de almacenamiento de datos, protección IP65. Este equipo capta la señal transmitida por el sensor de pH.	\$ 6.850.000
electro valvula	Helbert y cia S.A	1		Electrovalvula de activación eléctrica de 10" puede ser combinada con otras aplicaciones de control según requerimiento.	\$ 18.889.000
valvula manual	Helbert y cia S.A	1		Valvula de activacion manual tipo mariposa, ideal para procesos de purga de tratamiento de aguas residuales	\$ 867.200
COSTO TOTAL DE EQUIPOS					\$ 50.379.153

Fuente: elaboración propia

6. COSTOS DE IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE NEUTRALIZACION

En este capítulo se determinaron los costos totales del sistema de neutralización para el primer año. Dentro de los costos totales calculados se encuentran¹⁰²: los costos de inversión y los costos de operación. Se analizó la relación beneficio/costo como indicador financiero del proyecto.

6.1 COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión (tabla 7) corresponden a los equipos e instrumentos del sistema de neutralización.

Tabla 6. Costos de inversión del proyecto.

Equipo	Cantidad	Costo por unidad	Costo total
Tanque de almacenamiento de lixiviado (T-101)	2	\$ 5.800.000	\$ 11.600.000
Tanque de agitación (T-102)	1	\$ 942.000	\$ 942.000
Tanque de almacenamiento de hidróxido de sodio	1	\$ 942.000	\$ 942.000
Bomba sumergible del tanque de almacenamiento (P-1)	1	\$ 4.050.438	\$ 4.050.438
Bomba de dosificación de hidróxido de sodio (P-2)	1	\$ 2.488.071	\$ 2.488.071

Tabla 6. (Continuación)

¹⁰² CORELLA ,JOSÉ, Cómo preparar estudios de inversión en el sector sanitario, Ediciones Díaz de Santos, 2003, p. 43

Motor agitador eléctrico	1	\$ 1.678.740	\$ 1.678.740
Sensores de nivel tipo flotador	4	\$ 18.260	\$ 73.040
Sensores de nivel tipo flotador magnético	4	\$ 68.666	\$ 274.664
Sensores de Ph	1	\$ 1.720.000	\$ 1.720.000
Controlador de pH	1	\$ 6.850.000	\$ 6.850.000
Electro válvula	1	\$ 18.888.900	\$ 18.888.900
Válvula manual	1	\$ 867.200	\$ 867.200

Costo total de inversión del proyecto			\$ 50.379.053
--	--	--	----------------------

Fuente: elaboración propia

Los costos de inversión corresponden a un valor de \$ 50.379.053 pesos colombianos

6.2 COSTOS DE OPERACIÓN

Los costos de operación para este proyecto corresponden a los costos generados por el gasto energético del sistema de neutralización, el tiempo remunerado del operario destinado a supervisar el proceso y el costo de los reactivos utilizados.

6.2.1 Costos de energía. Los costos de energía (tabla 8) corresponden al consumo de energía eléctrica por parte de los elementos electrónicos del sistema como lo son las bombas, el motor agitador y el solenoide de la electroválvula, estos se calculan según el consumo de electricidad del equipo en kW/h y el precio del kW/h (\$45) establecido para la central Termozipa.

Tabla 7. Costos de energía

Equipo	Consumo kW/h	Costo por hora \$COP	Costo por día \$COP	Costo anual \$COP
Bomba sumergible del tanque de almacenamiento de lixiviado (P-1)	2,942	132,390	3177,360	1.143.850
Bomba dosificadora de hidróxido de sodio (P-2)	0,735	33,075	793,800	285.768
Motor agitador eléctrico	0,200	9	216	77.760
Sensor de nivel tipo flotador	0,010	0,450	10,800	3.888
Sensor de nivel tipo flotador magnético	0,010	0,450	10,800	3.888
Controlador de pH	0,092	4,158	99,792	35.925
Solenoides de la electroválvula	0,008	0,360	8,640	3.110
Costo anual de energía del sistema de neutralización				1.554.189

Fuente: elaboración propia

Los costos se calcularon asumiendo un funcionamiento continuo de los equipos, un mes de 30 días y con eficiencia de 100% (eficiencia supuesta para facilidad de cálculo, debido a que en la práctica las bombas no presentan tal eficiencia y se requiere una evaluación de su eficiencia real¹⁰³) para todos los equipos

Para determinar los valores de kW/h para cada equipo se consultaron los manuales correspondientes para cada uno, para el controlador de pH se empleó la ley de watts (ANEXO N) para determinar la potencia del equipo

¹⁰³SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS C.A, manual de procedimiento para el cálculo y selección de sistema de bombeo, 1982, p. 41 [Consultado el 3 de Agosto de 2018], disponible en: < <http://www.sishica.com/sishica/download/Manual.pdf>>

6.2.2 Costos de operarios. Salario completo sin exención de salud para empleado en Colombia para el año 2018 ¹⁰⁴ :

Tabla 8. Componentes del salario mínimo para el año 2018

Ítem	Porcentaje (%)	Costo \$ COP
Salario básico	100	781.242
Auxilio de transporte	11,69	91.327
Salud	8,5	66.406
Pensión	0,12	93.749
ARL	0,52	4.062
Parafiscales	0,09	70.312
Prima	8,33	65.077
Cesantías	8,33	65.077
Intereses	0,12	93.749
Vacaciones	4.17	32.578
Dotación	5	39.062
Costo mensual para un operario		1.402.642

Fuente: elaboración propia

El salario mensual de un operario en la central Termozipa cuesta \$ 1.402.642 pesos colombianos, sin embargo, dado que el sistema de neutralización es automatizado, el operario cumplirá las funciones de supervisión y mantenimiento del sistema únicamente.

Se asume una supervisión del sistema de neutralización, dos veces al día, una en la tarde y otra en la mañana con duración de 1 hora cada vez (60 horas al mes)

Se asume un mantenimiento del sistema durante un clima seco con bajas precipitaciones cada semana con una duración de 3 horas para lavados de los tanques (12 horas al mes)

El operario debe cumplir un horario de trabajo de 48 horas a la semana¹⁰⁵, es decir, 192 horas al mes, con lo cual, si \$1.402.642 pesos colombianos equivalen a 192 horas, 1 hora de trabajo equivaldrá a \$ 7.305 pesos colombianos

En la tabla 10 se resumen los costos de operario según lo mencionado anteriormente:

¹⁰⁴ MINISTERIO DE TRABAJO, salario mínimo 2018 , [Consultado el 3 de Agosto de 2018], disponible en:< <http://www.mintrabajo.gov.co>>

¹⁰⁵ MINISTERIO DEL TRABAJO, salario mínimo 2018, horas laborales, [Consultado el 3 de Agosto de 2018], disponible en:< <http://www.mintrabajo.gov.co>>

Tabla 9. Costos del operario calculados para el sistema de neutralización

Función	Horas al mes (h)	Costo mensual \$ COP	Costo anual \$COP
Mantenimiento	60	438.300	5.259.600
Supervisión	12	87.666	1.051.920
Costo anual operario			6.311.520

Fuente: elaboración propia

6.2.3 Costos de los reactivos.

- Comprenden el consumo de NaOH empleado para la neutralización del lixiviado de carbón
- Se asume 1 hora de tratamiento al día debido a que se desconoce cuánto tiempo puede estar en operación el sistema debido a los fenómenos climatológicos que se presentan en el año como el fenómeno de la niña y del niño, por ejemplo, en el primer caso el tanque T-101 puede demorarse en llenarse 1 día o menos, pero en el segundo caso el tanque puede demorarse en llenarse periodos más prolongados como semanas o meses dependiendo de la precipitación¹⁰⁶
- Se analizan dos escenarios, el primero (tabla 11) con un pH de 2,07 que corresponde al valor de pH más bajo registrado en la caracterización y el segundo (tabla 12) con un pH de 2,8 que corresponde al valor de pH más alto registrado en la caracterización
- La neutralización ocurre cada 5 minutos, es decir, son 12 cada hora.

Tabla 10. Costos de reactivos para el pH más bajo 2,07

pH	Volumen de dosificación de NaOH (m ³) para neutralizar 1 m ³ de lixiviado de carbón	Costo de 1 m ³ de NaOH \$COP	Costo de neutralización para 1 hora \$COP	Costo de neutralización para 1 mes \$COP	Costo de neutralización anual \$COP
2,07	0,0143	2.740.000	470.184	14.105.520	169.266.240

Fuente: elaboración propia

¹⁰⁶IDEAM. Op.cit., p. 2

Tabla 11. Costos de reactivos para el pH más alto 2,8

pH	Volumen de dosificación de NaOH (m ³) para neutralizar 1 m ³ de lixiviado de carbón	Costo de 1 m ³ de NaOH \$COP	Costo de neutralización para 1 hora \$COP	Costo de neutralización para 1 mes \$COP	Costo de neutralización anual \$COP
2,8	0,0093	2.740.000	305.784	9.173.520	110.082.240

Fuente: elaboración propia

La neutralización a un pH de 2,8 disminuye los costos de operación en \$ 59.184.000, es decir, por cada 0,7 puntos de pH se ahorra esta cantidad anualmente, ahora bien, estos valores de pH se presentan ocasionalmente.

Para el cálculo de los costos de operación se tomara el escenario analizado con un pH De 2,07, ya que en la caracterización llevada a cabo (Cuadro 7), los valores de pH se acercan más a este valor, con una moda de 2,24 para los datos de la caracterización.

6.2.4 Costos totales de operación. Corresponden a la suma de los costos de operación, de energía y de operación (tabla 13).

Tabla 12. Costos totales de operación anuales.

Costos totales de operación \$ COP	
Operario	6.311.520
Energía	1.554.189
Reactivo	169.266.240
Costo total	177.131.949

Fuente: elaboración propia

Los costos de operación para el primer año son de \$ 177.131.949 pesos colombianos.

6.3 COSTOS TOTALES

Los costos totales (tabla 13) corresponden a la suma de los costos de inversión y de operación:

Tabla 13. Costos totales anuales del sistema de neutralización.

Costos totales \$COP	
Inversión	50.379.053
Operario	6.311.520
Energía	1.554.189
Reactivo	169.266.240
Costo total sistema de neutralización	227.511.002

Fuente: elaboración propia

Los costos totales para el sistema de neutralización para el primer año corresponden a un valor de \$ 227.511.002 pesos colombianos.

6.4 RELACIÓN BENEFICIO / COSTO

Como indicador financiero se determinará la relación beneficio costo del sistema de neutralización en el primer año, la relación beneficio costo se evaluará de la siguiente forma¹⁰⁷:

Ecuación 14. Relación beneficio-costo

$$\text{Relacion Beneficio – costo} = \frac{\text{Beneficio (valor de la multa)}}{\text{Costo (Costo Total del proyecto)}}$$

6.4.1 Determinación de beneficios (multa). El objetivo de la implementación es no incurrir en sanciones como lo establece la resolución 631 de 2015 y según la ley 1333 de 2003 incurrir en el pago de una multa de hasta 5000 SMMLV, donde para el caso de la central Termozipa el valor de esta multa corresponderá, al valor de la implementación de un tratamiento para corregir el impacto ambiental más un valor por el daño ambiental ocasionado, el cual será estimado por un perito ambiental¹⁰⁸.

Se estima un valor de multa igual al costo de inversión del sistema de neutralización, debido a que no es posible calcular un valor de multa como lo establece la resolución 2086 del 2010 dado que la empresa no ha sido multada hasta la fecha.

El valor de la multa corresponde a \$ 50.379.053 pesos colombianos más un valor que puede llegar a ser de 5000 SMLMV es decir, \$ 3906.210.000. El valor de la multa estimado es de: \$3956.589.053

6.4.2 Determinación de costos (costos de operación). Los costos totales corresponden al costo en la ecuación 14, de esta manera los costos en la ecuación 14 corresponden a \$227.511.002 pesos colombianos

¹⁰⁷ POVEDA, Andrea, desarrollo de una alternativa para el aprovechamiento del agua residual tratada de la PTAR del frigorífico Ble Ltda., Universidad de América, p. 114

¹⁰⁸ MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Ley 1333 de 2009, p. 10, [3 de Agosto de 2018] disponible en: < <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/LEY%201333%20DE%202009.pdf>>

6.4.3 Determinación relación beneficio-costo Con los datos enunciados anteriormente la ecuación 14 queda expresada de la siguiente forma:

$$\textit{Relacion Beneficio – costo} = \frac{\$3956.589.053}{\$227.511.002} = 17$$

Con una relación beneficio-costos < 1 el proyecto genera pérdidas¹⁰⁹

Con una relación beneficio-costos =1 el proyecto presenta un punto de equilibrio

Con una relación beneficio-costos > 1 el proyecto genera ganancias

Con una relación beneficio-costos de 17 se esperaría un retorno de 17 veces lo invertido, sin embargo, este no es un proyecto de inversión en que se espera un retorno, en cambio, es un proyecto de tipo social en donde se implementa el proyecto para evitar un impacto ambiental y acarrear multas.

¹⁰⁹ VELASCO CECILIA, Fundamentos de análisis económico: guía para investigación y extensión, CATIE, 1994, p. 43

7. CONCLUSIONES

- Para el diagnóstico del tratamiento de lixiviado se realizó la caracterización del lixiviado de carbón de la central Termozipa en donde se mencionaron diferentes variables que inciden en las características físico-químicas del lixiviado, de las cuales se analizaron las variables de precipitación, pH y acidez obteniéndose valores de pH en un rango de 2-3, valores de acidez entre 4500mg CaCO_3/ml - 16250 $\text{mgCaCO}_3/\text{ml}$ niveles de precipitación entre 0,7mm-10,4mm, encontrándose una relación inversamente proporcional entre pH y acidez, una relación entre la precipitación y los valores extremos de pH y acidez, con lo cual se diagnosticó el lixiviado para posteriormente seleccionar el tratamiento con el agente neutralizante más idóneo.
- Se realizó una búsqueda de información de los agentes neutralizantes utilizados en el tratamiento de drenajes ácidos de minería, con lo cual tomando en cuenta la literatura consultada, se realizó una matriz de selección en donde se compararon diferentes parámetros, a partir de esta información, se seleccionaron como agentes neutralizantes la soda caustica (NaOH), hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) y bicarbonato de sodio (NaHCO_3) para el tratamiento del drenaje ácido de minería de la central Termozipa.
- En la experimentación a nivel laboratorio en donde se llevaron a cabo los ensayos de neutralización para las 50 muestras con un rango de pH entre 2-3, se seleccionó el hidróxido de sodio (18,22M) como el mejor agente neutralizante, ya que, cumplió efectivamente con la neutralización de lixiviado de carbón, presentando menores volúmenes de dosificación en comparación al hidróxido de calcio y bicarbonato de sodio.
- Se realizó una propuesta de neutralización para el tratamiento del lixiviado de carbón; Con el diseño propuesto se determinaron las especificaciones técnicas de los equipos a partir de balances de materia y materiales adecuados para el uso del hidróxido de sodio.
- Se realizó la automatización mediante control automático y manual del sistema de neutralización del lixiviado de carbón para facilitar el tratamiento y el control de la variable de respuesta (pH) del proceso.

- El costo total anual de implementación del sistema de neutralización fue de. \$ 222.602.124 pesos colombianos, representados por costos de inversión (\$ 50.379.053), costos de operación (\$177.131.949), a partir de estos valores se determinó la relación beneficio-costo como indicador financiero, obteniéndose un valor de 17, el cual indica un ahorro del 17% respecto a la multa impuesta en caso de no implementar el proyecto.

8. RECOMENDACIONES

- El comportamiento de los drenajes ácidos de minería es bastante impredecible, sin embargo, una correcta caracterización analizando todos los factores discutidos durante el capítulo 3 determinaría un comportamiento aproximado del lixiviado; Esta caracterización se debe realizar con una mayor serie temporal para tener en cuenta todos los fenómenos que se puedan presentar como lluvia acida, fenómeno del niño entre otros.
- El método racional ofrece un valor aproximado del caudal generado por precipitaciones lluviosas, para calcular un valor más exacto se necesitan una mayor cantidad de variables como lo son; la inclinación del terreno, el tiempo de concentración, el coeficiente de escorrentía calculado experimentalmente, la altura de las pilas de carbón y la construcción de una curva IDF (Intensidad Duración Frecuencia) para determinar las características reales de la precipitación presentada
- El proceso de neutralización puede ser optimizado calculando parámetros adicionales a los ya mencionados anteriormente como lo son: velocidades de reacción teóricas y experimentales, generación de lodos y post tratamiento, que no se encuentran dentro del alcance de este proyecto
- Los costos de neutralización dependen en gran medida del pH del lixiviado de carbón, por lo que un tratamiento previo antes de la neutralización con una alternativa económica como cenizas, cal o peróxidos reduciría los costos al aumentar el valor de pH inicial y reducir el volumen de dosificación

BIBLIOGRAFIA

ADUVIRE, OSVALDO, Drenaje ácido de mina, Instituto Geológico y Minero de España, Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente, Madrid, 2006, p. 1-32

AJIACO, FREDY, Evaluación del comportamiento térmico de carbones del Cerrejón, carbones coquizantes y sus mezclas en la producción de coque metalúrgico, Tesis Magistral, Universidad Nacional De Colombia, 2011 p. 84.

ANGULO CECILIO, RAYA CRISTOBAL, Tecnología de sistemas de control, edicions UPC, 2004, p. 31

ANMAT, (Administración nacional de medicamentos, alimentos y tecnología médica), características carbonato sódico hidrogenado, 2015, p. 2 [en línea] <https://www.argentina.gob.ar/anmat>

ARENY RAMÓN, sensores acondicionadores de señal ,4a edición, 2003, p. 2

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). Managing Hazardous Materials Incidents, Sodium Hydroxide, p. 2 [en línea] <https://www.atsdr.cdc.gov/es/index.html>

BACH, miguel ángel, Tratamiento y control de pH en una mina de drenaje ácido aurífera, Tesis pregrado, Universidad Nacional De Trujillo, 2013, p. 34

BARAHONA RODRIGO, Lixiviación en minería, riesgos y acciones preventivas, Revista HSEC, 2014, p. 2

BARRIOS, FRANCISCO, Control estadístico de los procesos, ED Fundación Confemetal, 2005, p. 379

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTOMOMA DE PUEBLA, guía metodológica de biología II, 2010, p. 13

BRUNATTI, CARLOS, funcionamiento de un pH-metro, Métodos potenciométricos, Universidad de Buenos Aires, 2006, p. 2

CANO JOHANNA, Identificación de drenajes ácidos de mina con sensores remotos, Universidad Nacional De Colombia, 2015, p. 23

CARDENAS GARCIA, Modelación del potencial de drenaje ácido de botaderos, Tesis pregrado, Universidad de Chile, 2013, p. 3

CARDÉ, JUAN, Universidad adventista de las Antillas, Diluciones, 2012 [en línea] <https://es.scribd.com/doc/53399019/Diluciones>

CASELLA ESPAÑA S.A, Pluviómetro de balancín y calefactado, manual de instrucciones, 2013, [en línea] <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:37grZi2eGO4J:casella-es.com/wp-content/uploads/2013/07/Man-Pluvi%25C3%25B3metro.pdf+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>

CONSEJO DE LA MINERÍA AMBIENTAL DE LA COLUMBIA BRITÁNICA, Miningwatch Canadá, drenaje ácido de la minería, p. 10 [en línea] https://miningwatch.ca/sites/default/files/amd_esp.pdf

CORELLA JOSÉ, Cómo preparar estudios de inversión en el sector sanitario, Ediciones Díaz de Santos, 2003, p. 43

D. TRUMM, Selection of active and passive treatment systems for AMD—flow charts for New Zealand conditions EN: New Zealand Journal of Geology and Geophysics, 2010, Vol 53, p. 195-210

D. TRUMM, Selection of active treatment systems for acid mine drainage, EN: Proceedings of the 2008 Meeting of the New Zealand Branch of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy. Wellington, New Zealand Vol. 31, 2008 p. 3-10

FAO (Food and Agriculture Organization), Density database, 2012 [en línea] <http://www.fao.org/docrep/017/ap815e/ap815e.pdf>

GALVEZ LUIS, Modelo Matemático para vaciado de Tanques, EN: scientia et Technica Año XXII, Vol. 22, No. 1, marzo de 2017, p. 3

GARCIA EFRÉN, Diseño de un sistema de tratamiento para el control de drenaje ácido dentro de una mina, tesis pregrado, Universidad nacional autónoma de México, 2016, p. 47

GASKUE IMANOL, Producción de carbonato sódico, proceso Solvay, 2012 [en línea] <http://www.ingenieriaquimica.net/articulos/294-produccion-de-carbonato-sodico-proceso-solvay>

GOICOCHEA WALTER, Tratamiento de aguas ácidas provenientes del PAD de lixiviación con NaOH-almidon; en cia minera sipan sac, durante cierre ambiental. Distrito de Ilapa, Cajamarca, Perú, Tesis doctoral, Universidad Nacional de Trujillo, 2013, p. 21

GONZALEZ MONICA, Bases fuertes, hidróxido de sodio 2010 [en línea] <https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/base-fuerte>

HERNAN, GUERRERO, El pH, Sociedad acuariologica del plata, 2006 [en línea], http://www.sadelplata.org/articulos/guerrero_060901.html

HEROGRA AMBIENTAL S.A, Dossier técnico, ficha técnica, hidróxido cálcico uso industrial, p. 8.

HIMMELBLAU, DAVID, Principios básicos y cálculos en ingeniería química, ED Prentice Hall, 2012, p. 604

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá: En Instituto, 2008, p.1

_____. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá: En Instituto, 2008, p.1 – 2. 85

_____. Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá: En Instituto, 1998, p.2.

ICONTEC, NTC 4803, Calidad del agua- determinación de acidez 2016, p. 3

ICONTEC, NTC ISO/IEC 17025, requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayos y calibración, 2005, p. 18

IDEAM, Frecuencia e intensidad de las lluvias, capítulo 28, pág. 2, 2014 [en línea] <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/012406/Cap28.pdf>

INAP, (The International Network for Acid Prevention), GARD (Global Acid Rock Drainage) guide 2017, [en línea] <http://www.gardguide.com /index.php?title=Resumen>

INDUSTRIAS DAYI S.A, Ficha técnica hidróxido de calcio, p. 2, [en línea] <http://www.caldelvalle.com/industrial.php>

ITEC, Análisis de Riesgos y Plan de Contingencia para la Central Termozipa de Emgesa S.A. E.S.P, p. 3-1

JIMENEZ, JAIRO, DORÁNGELA LANDAETA, GARCÍA JESÚS, Clarificación con agitación lenta: Experiencias y resultados, Fedepalma, En: PALMAS, Vol. 21, p. 341

KIM, J.J. Y KIM, S.J, Environmental, mineralogical, and genetic characterization of ochreous and white precipitates from acid mine drainages in Taebaeg, Korea. Pag Environ. Sci. Technol. 37, Vol 10, 2003, p. 2120-2126

LOTTERMOSER, BERND, Mine wastes: active treatments, ED Pearson, p. 184, 2010

MICROMECHANICA S.A.I.C, curso 061 controlador lógico programable (PLC), p. 24 [en línea] <http://www.tecneveca.com/micro/Master%20Español%20MICRO.pdf>

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Republica de Colombia, resolución 631 de 2015, p. 7

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Ley 1333 de 2009, p. 10 [en línea] <http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/LEY%201333%20DE%202009.pdf>

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA DE COLOMBIA, Guía minero ambiental, 1998, p. 15

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA DE COLOMBIA, glosario técnico minero, 2015, p. 11

MINISTERIO DE MINERIA DE CHILE, Guía metodológica sobre drenaje ácido en la industria minera, Gobierno de Chile, 2002, p. 10

MINISTERIO DE TRABAJO, salario mínimo para el año 2018, [en línea] <http://www.mintrabajo.gov.co>

MITSUBISHI ELECTRIC, FX series, manual de instrucciones, p. 17

MONTEALEGRE JOSÉ, Actualización del componente Meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. 2014, p. 17

MONTERROSO C. MACÍAS F, Aguas de drenaje de mina afectadas por la oxidación de sulfuros. Variaciones estacionales de su composición, Universidad de Santiago, EN: Edafología, Vol. 5, p. 8-10

MONTOYA JOHANNA, Identificación de drenajes ácidos de mina con sensores remotos, Tesis magistral, Universidad Nacional de Colombia, 2015, p. 23

MORIN, K. Y HUTT, Relocation of net-acid-generating waste to improve post-mining water chemistry, EN: waste management, Vol 20, p. 185

MOSCOSO WILLIAN. Análisis de la relación entre variables hidrometeorológicas y zonas inundables por medio de sistemas inteligentes artificiales en un tramo del río Bogotá comprendido entre estaciones de puente Florencia (Gachancipá) y Tocancipá, Tesis magistral, Universidad de la sabana, 2014, p. 40

MUÑOZ JORGE, Planes de Cierre Mineros – Curso Resumido, Geología, Universidad de Madrid, 2008, p. 24

NEMEROW NELSON, Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos, Ediciones Díaz de santos, 1998, p. 649

NORDSTROM, D.K. Effects of Microbiological and Geochemical Interactions in Mine Drainage. EN: Environmental Aspects of Mine Wastes. Vol 31. Mineralogical Association of Canada. 2003, p. 2

OGATA, KATSUHIKO, Ingeniería de control moderna, Ed Pearson education, 2003 capítulo 1, p. 8

OIT (Organización Internacional del Trabajo). International Chemical Safety Cards, Sodium Hydroxide, p. 3

ORION PRODUCTOS INDUSTRIALES, S.A, HDSM, Hoja de Datos de Seguridad de Materiales, hidróxido de calcio p. 1.

PÉREZ MARIO, ANALÍA HIDALGO, Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo, Facultad de ingeniería, Universidad nacional de San Juan, p. 10

POVEDA, ANDREA, desarrollo de una alternativa para el aprovechamiento del agua residual tratada de la PTAR del frigorífico Ble Ltda., Tesis pregrado, Universidad de América, p. 114

QUIMINSA S.A, Ficha técnica, Bicarbonato de sodio, p. 2

REINA ELIANA, *Thiobacillus Ferrooxidans*, Biolixiviación, 2014, p. 24 [en línea] <https://prezi.com/batj7jzyq4cq/thiobacillus-ferrooxidans/>

RODRIGUEZ, LUIS, Conceptos básicos y tecnología de control, 2003, pág. 3 [en línea] <http://www.unet.edu.ve/~jlrodriguezp/ctrlterm.pdf>

RODRIGUEZ MIGUEL, Diseño de un planta de tratamiento para drenaje ácido de una mina en el estado de México, Universidad autónoma de nuevo León, En: Ingeniería revista académica, Vol. 20; núm. 2, 2016, p. 119- 199.

RODRIGUEZ ROBERTO, Los residuos minero-metalúrgicos en el medio ambiente, Instituto minero y geológico de España, Serie medio ambiente, Vol. 11, 2006, p. 646

ROMAN CESAR, Sistemas de control, Universidad politécnica de Catalunya, capítulo 2, p. 5 [en línea] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5>

SALAZAR GIRALDO, HERNANDEZ ANGEL, ARANGO ALVARO, Alternativas de tratamientos de las aguas de los drenajes ácidos de minas: una revisión, EN: Perspectivas y Avances de Investigación de la serie Lasallista Investigación y Ciencia, capítulo 19, 2012, p. 354

SANCHEZ JAVIER, Hidrología superficial (III), relación precipitación-escorrentía método racional, Departamento de Geología, Universidad de Salamanca. 2013, p. 4

SANCHEZ, Luis Enrique, drenajes de mina a cielo abierto, II curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental, capítulo 16, p. 262

SISTEMAS HIDRONEUMÁTICOS C.A, manual de procedimiento para el cálculo y selección de sistema de bombeo, 1982, p. 41, [en línea] <http://www.sishica.com/sishica/download/Manual.pdf>

STANDARD MENDER ELECTRONICS, Series Datasheet – LS01 Level Sensors, p. 1, [en línea] https://co.mouser.com/datasheet/2/262/datasheet_level_sensor_LS01-773699.pdf

TAYLER H. BINGHAM, PAUL F. MULLIGAN, The Beverage Container Problem: Analysis and Recommendations, Volume 2, 1972, p. 78

VAM INDUSTRY, Planta de producción de acetato de vinilo, manual de cálculo, 2016 [en línea] https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/148700/TFG_VamIndustry_v01.pdf

VÁSQUEZ MORERA, T., ALFARO SOLÍS, R., SIBAJA BRENES, J., ESQUIVEL HERNÁNDEZ, G., & VALDÉS GONZÁLEZ, J, Composición química del agua de lluvia y de niebla recolectada en la reserva biológica Monteverde, EN: Uniciencia, Vol. 26, 2016, p. 51-64

VEGA, ALEJANDRA, Efectos de la acidificación sobre el medio ambiente, 2012, [en línea] <http://www.centrotierravirtual.com/ctvcursos/2012/07/06/efectos-de-la-acidificación-sobre-el-medio-ambiente/>

VELASCO CECILIA, Fundamentos de análisis económico: guía para investigación y extensión, CATIE (centro agronómico tropical de investigación y enseñanza), 1994, p. 43

VIDAL ARAMBURÚ, Disminución del contenido de azufre en carbón mineral, mediante procesos metalúrgicos para uso industrial, EN: Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, Vol. 10, Nº 20, 7-12 (2007), p. 1-3

VILCA, CARLOS. Diseño y modelamiento de una planta de tratamiento de aguas acidas en la unidad minera, iscaycruz-oyon, Tesis pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Perú, 2015, p. 12

VILLANUEVA, ARNULFO. RESKALA MARIA, Influencia del H₂O₂, NaOH y CaOH₂ en la remoción de Mn de aguas de drenaje acido, Tesis pregrado, Universidad Nacional de Trujillo, 2017, p. 15-20

VLADIMIR, Uribe, Diseño y cálculo de un agitador de fluidos, Universidad del Bio Bio, Facultad de ingeniería mecánica, 2013, p. 38

WILLIAM E. OLDS, DANIEL C. W. TSANG, PAUL A. WEBER, CHRIS G. WEISENER. Nickel and Zinc Removal from Acid Mine Drainage: Roles of Sludge Surface Area and Neutralizing Agents, EN: Journal of Mining, vol 5. 2013, p. 3-5

ZAPATA ROLANDO, Carbones colombianos: clasificación y caracterización termoquímica para aplicaciones energéticas, En revista ION, vol. 27, n° 2, 2014 p. 3

ANEXOS

ANEXO A


CARACTERIZACIÓN DEL CARBÓN UTILIZADO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA CENTRAL TERMOZIPA

Label SGS	Análisis Próximo (como se recibe)						Azufre (%)	Poder Calorífico		Análisis Ultimo			
	ADL	HR	Ht (%)	Cz (%)	Mv (%)	Cf (%)		HHV (cal/g)	LHV (cal/g)	H ₂ (%)	N ₂ (%)	C (%)	O ₂ (%)
138347	4,71	1,17	5,82	12,11	32,45	49,62	0,95	6894,44	6631,38	4,7			
138368	4,98	1,56	6,46	12,06	49,88	31,6	0,95	6800,56	6476,3	5,87			
138372	5,75	1,15	6,83	11,78	32,4	48,99	0,94	6756,67	6491,94	4,62			
138438	5,38	1,68	6,97	11,46	31,74	49,83	0,97	6785,56	6521,61	4,58			
138467	5,83	1,66	7,39	12,02	31,37	49,22	0,96	6784,44	6518,12	4,59			
138509	7,66	1,42	8,97	11,17	31,5	48,36	0,95	6681,67	6408,67	4,54			
138619	5,18	1,49	6,59	11,99	31,58	49,84	0,97	6800	6537,99	4,59			
138621	5,48	1,41	6,81	12,04	31,98	49,17	0,97	6833,33	6567,23	4,65			
138675	5,99	1,22	7,14	11,9	31,92	49,04	0,97	6.819,44	6.551,93	4,64			
138707	5,88	1,36	7,16	12,19	31,29	49,36	0,97	6815	6549,26	4,6			

Fuente: Emgesa S.A E.S.P

ANEXO B

DATOS DE PLUVIOMETRÍA PARA EL AÑO 2017



AT S.A.S.

REGISTRO DE PRECIPITACIONES

Manejo de residuos de la combustión de carbón
Cenizas y su disposición final - Central Termoeléctrica.

VERSIÓN 0.
Octubre de 2016.
Página 1 de 1.

MES: Enero de 2017.

DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	OBSERVACIONES / DATOS COMPARATIVOS
1	A. M.	—	17	07:00 A. M.	0.0	*No se trabaja el lunes 2017-01-02; no obstante, el pluviómetro no registra históricas de precipitaciones para la fecha en mención. *No se trabajan los días 7, 8 y 9; no obstante, el pluviómetro registra 2.0 mm de precipitación el día lunes festivo 2017-01-09 a las 8:20 a. m. El dato de precipitación reportado el 20/01/2017 de 7.3 mm a las 07:00 a. m., corresponde a lluvias iniciadas el jueves 19/01/2017 en horas de la tarde. → Total precipitación 39.3 mm. *El dato reportado en planilla el 2017-01-25 a las 7:00 a. m. correspondiente a 106 mm, pertenece a lluvias iniciadas el día 2017-01-24 a las 5:25 p. m.
	P. M.	—		06:10 P. M.	4.3	
2	A. M.	—	18	07:00 A. M.	1.2	
	P. M.	—		04:45 P. M.	6.6	
3	07:00 A. M.	0.0	19	07:00 A. M.	1.2	
	04:00 P. M.	0.0		04:00 P. M.	32.0	
4	07:00 A. M.	0.0	20	07:00 A. M.	7.3	
	04:00 P. M.	0.0		04:00 P. M.	0.0	
5	07:00 A. M.	0.0	21	07:00 A. M.	0.0	
	05:00 P. M.	0.5		12:00 P. M.	0.0	
6	07:00 A. M.	0.0	22	— A. M.	—	
	04:00 P. M.	0.0		— P. M.	—	
7	A. M.	—	23	07:00 A. M.	0.0	
	P. M.	—		05:30 P. M.	0.0	
8	A. M.	—	24	07:00 A. M.	0.0	
	P. M.	—		04:45 P. M.	0.0	
9	A. M.	0.0	25	07:00 A. M.	10.6	
	03:20 P. M.	2.0		05:00 P. M.	0.0	
10	07:00 A. M.	0.0	26	07:00 A. M.	1.5	
	04:00 P. M.	0.0		05:00 P. M.	0.5	
11	07:00 A. M.	0.2	27	07:00 A. M.	0.0	
	04:00 P. M.	0.0		05:00 P. M.	0.0	
12	07:00 A. M.	0.5	28	07:00 A. M.	0.0	
	04:30 P. M.	0.0		12:00 P. M.	0.0	
13	07:00 A. M.	0.0	29	— A. M.	—	
	05:00 P. M.	12.1		— P. M.	—	
14	07:00 A. M.	3.3	30	07:00 A. M.	0.0	
	12:00 P. M.	0.0		05:00 P. M.	0.0	
15	A. M.	—	31	07:00 A. M.	0.0	
	P. M.	—		05:00 P. M.	0.0	
16	07:00 A. M.	0.0				
	05:00 P. M.	0.0				

* Hacer una lectura en horas de la mañana y una lectura en horas de la tarde
** 1 mm de precipitación en el pluviómetro, equivale a 1 L/m²



AT S.A.S.

AT S.A.S.

REGISTRO DE PRECIPITACIONES

VERSIÓN 0
 Octubre de 2016
 Página 1 de 1

MANEJO DE RESIDUOS DE LA COMBUSTIÓN DE CARBÓN "CENTZA"

PROYECTO, CENTRAL O INSTALACIÓN: Y SU DISPOSICIÓN FINAL CENTRAL TERMIZIPA

MES: FEBRERO DE 2017.

DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	OBSERVACIONES / DATOS COMPARATIVOS
1	07:00 A.M.	0.0	17	08:00 A.M.	0.5	* 2017-02-20 se reporta en planilla 2.5mm de precipitación correspondiente a lluvias iniciadas en la tarde del 2017-02-19 a las 3:49 p.m. * Dato reportado en Planilla de 2.5mm el 2017-02-24, correspondiente a lluvias iniciadas en la noche del 2017-02-23 (a partir de las 6:18 p.m.) * No se trabaja el 2017-02-26, no obstante el pluviómetro registra precipitaciones en la madrugada (12:00h) de 0.2mm y en la tarde (5:07p.m) de 3.5mm.
	05:00 P.M.	0.0		09:00 P.M.	0.2	
2	07:00 A.M.	0.0	18	07:00 A.M.	0.0	
	05:00 P.M.	0.0		12:00 P.M.	0.0	
3	07:00 A.M.	0.0	19	— A.M.	—	
	04:40 P.M.	0.0		— P.M.	—	
4	07:00 A.M.	1.5	20	07:00 A.M.	2.5	
	12:00 P.M.	0.0		05:00 P.M.	3.8	
5	— A.M.	—	21	07:00 A.M.	0.0	
	— P.M.	—		05:00 P.M.	0.0	
6	07:00 A.M.	0.0	22	07:00 A.M.	0.0	
	05:00 P.M.	0.0		05:00 P.M.	0.0	
7	07:00 A.M.	0.0	23	07:00 A.M.	0.0	
	05:00 P.M.	0.0		05:00 P.M.	0.0	
8	07:00 A.M.	0.0	24	07:00 A.M.	2.5	
	05:00 P.M.	0.0		04:00 P.M.	10.1	
9	07:00 A.M.	0.0	25	07:00 A.M.	3.5	
	05:00 P.M.	0.0		12:00 P.M.	0.0	
10	07:00 A.M.	0.2	26	12:00 A.M.	0.2	
	05:00 P.M.	0.0		05:07 P.M.	3.5	
11	07:00 A.M.	0.0	27	07:00 A.M.	—	
	12:00 P.M.	0.0		05:00 P.M.	—	
12	— A.M.	—	28	07:00 A.M.	0.0	
	— P.M.	—		05:00 P.M.	0.0	
13	07:00 A.M.	0.0	29	N.A. A.M.	N.A.	
	05:00 P.M.	0.0		N.A. P.M.	N.A.	
14	07:00 A.M.	0.0	30	N.A. A.M.	N.A.	
	05:00 P.M.	0.0		N.A. P.M.	N.A.	
15	07:00 A.M.	0.0	31	N.A. A.M.	N.A.	
	04:30 P.M.	0.0		N.A. P.M.	N.A.	
16	07:00 A.M.	0.0				
	05:00 P.M.	0.0				

* Hacer una lectura en horas de la mañana y una lectura en horas de la tarde

** 1 mm de precipitación en el pluviómetro, equivale a 1 L/m²



AT S.A.S.

VERSIÓN 0.
Octubre de 2016.
Página 1 de 1.

REGISTRO DE PRECIPITACIONES

MANEJO DE REDUCCION DE LA COMBUSTION DE CARBON
DELICIA Y SU DISTRIBUCION FINAL - CENTRAL TERMOMIA.

PROYECTO, CENTRAL O INSTALACION:

MES: MARZO DE 2017.

DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	OBSERVACIONES / DATOS COMPARATIVOS																																																																																																																																																																				
1	03:00 A.M.	11.8	17	03:00 A.M.	14.7	* Se reportan Precipitaciones de 14.7 mm el 2017-03-17 correspondiente a lluvias iniciadas el 2017-03-28 y finalizadas en ese día.																																																																																																																																																																				
	05:00 P.M.	6.8		04:00 P.M.	0.2		2	07:00 A.M.	0.8	18	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-02 a las 7:00 a.m. se reportan 9.8 mm de precipitación, correspondientes a lluvias del día anterior, después de las 5:00 p.m.	05:00 P.M.	0.0	12:00 P.M.	0.0	3	07:00 A.M.	0.0	19	07:00 A.M.	8.3	* se reportan en planilla el 2017-03-08, 32.0 mm de precipitación, correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-07 a partir de las 8:50 p.m. y finalizadas en la madrugada del 2017-03-08.	07:00 P.M.	0.0	— P.M.	—	4	07:00 A.M.	0.0	20	— A.M.	—	* reporte en planilla del 9-03-2017, corresponde a precipitaciones del 2017-03-07 (8.6 mm).	06:00 P.M.	0.0	— P.M.	—	5	07:00 A.M.	0.0	21	07:00 A.M.	0.0	* No se trabaja el domingo 2017-03-12; no obstante, se reportan precipitaciones con corte a las 7:00 a.m. correspondientes al día anterior y corte a medio día, correspondientes al mismo domingo.	06:00 P.M.	0.0	04:45 P.M.	0.2	6	07:00 A.M.	0.0	22	07:00 A.M.	6.6	* 2017-03-13, se reportan 2.5 mm de precipitación, correspondientes a lluvias iniciadas a las 8:53 p.m. del 2017-03-12.	07:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	0.0	7	07:00 A.M.	0.0	23	07:00 A.M.	7.8	* 2017-03-19 → 14.7 mm correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-16 a las 9:08 p.m.	05:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	0.0	8	07:00 A.M.	32.0	24	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-19 → 8.3 mm correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-18 a las 2:51 p.m.	05:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	4.5	9	07:00 A.M.	8.6	25	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-25, personal sale a las 12:00 m; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones en la tarde.	05:00 P.M.	0.0	07:00 P.M.	10.4	10	07:00 A.M.	0.0	26	— A.M.	—	* 2017-03-26 no se trabaja; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones durante la tarde y noche.	04:00 P.M.	0.0	12:57 P.M.	14.4	11	07:00 A.M.	0.0	27	07:00 A.M.	3.5		11:00 P.M.	0.0	04:30 P.M.	4.3	12	07:00 A.M.	2.5	28	07:00 A.M.	0.0		12:00 P.M.	4.0	04:30 P.M.	0.2	13	07:00 A.M.	2.5	29	07:00 A.M.	2.3		04:15 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	14	07:00 A.M.	0.0	30	07:00 A.M.	0.2		05:00 P.M.	0.0	04:20 P.M.	1.0	15	07:00 A.M.	0.2	31	07:00 A.M.	2.2		04:00 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	16	07:00 A.M.	0.0					04:00 P.M.	0.0	
2	07:00 A.M.	0.8	18	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-02 a las 7:00 a.m. se reportan 9.8 mm de precipitación, correspondientes a lluvias del día anterior, después de las 5:00 p.m.																																																																																																																																																																				
	05:00 P.M.	0.0		12:00 P.M.	0.0		3	07:00 A.M.	0.0	19	07:00 A.M.	8.3	* se reportan en planilla el 2017-03-08, 32.0 mm de precipitación, correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-07 a partir de las 8:50 p.m. y finalizadas en la madrugada del 2017-03-08.	07:00 P.M.	0.0	— P.M.	—	4	07:00 A.M.	0.0	20	— A.M.	—	* reporte en planilla del 9-03-2017, corresponde a precipitaciones del 2017-03-07 (8.6 mm).	06:00 P.M.	0.0	— P.M.	—	5	07:00 A.M.	0.0	21	07:00 A.M.	0.0	* No se trabaja el domingo 2017-03-12; no obstante, se reportan precipitaciones con corte a las 7:00 a.m. correspondientes al día anterior y corte a medio día, correspondientes al mismo domingo.	06:00 P.M.	0.0	04:45 P.M.	0.2	6	07:00 A.M.	0.0	22	07:00 A.M.	6.6	* 2017-03-13, se reportan 2.5 mm de precipitación, correspondientes a lluvias iniciadas a las 8:53 p.m. del 2017-03-12.	07:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	0.0	7	07:00 A.M.	0.0	23	07:00 A.M.	7.8	* 2017-03-19 → 14.7 mm correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-16 a las 9:08 p.m.	05:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	0.0	8	07:00 A.M.	32.0	24	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-19 → 8.3 mm correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-18 a las 2:51 p.m.	05:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	4.5	9	07:00 A.M.	8.6	25	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-25, personal sale a las 12:00 m; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones en la tarde.	05:00 P.M.	0.0	07:00 P.M.	10.4	10	07:00 A.M.	0.0	26	— A.M.	—	* 2017-03-26 no se trabaja; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones durante la tarde y noche.	04:00 P.M.	0.0	12:57 P.M.	14.4	11	07:00 A.M.	0.0	27	07:00 A.M.	3.5		11:00 P.M.	0.0	04:30 P.M.	4.3	12	07:00 A.M.	2.5	28	07:00 A.M.	0.0		12:00 P.M.	4.0	04:30 P.M.	0.2	13	07:00 A.M.	2.5	29	07:00 A.M.	2.3		04:15 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	14	07:00 A.M.	0.0	30	07:00 A.M.	0.2		05:00 P.M.	0.0	04:20 P.M.	1.0	15	07:00 A.M.	0.2	31	07:00 A.M.	2.2		04:00 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	16	07:00 A.M.	0.0					04:00 P.M.	0.0												
3	07:00 A.M.	0.0	19	07:00 A.M.	8.3	* se reportan en planilla el 2017-03-08, 32.0 mm de precipitación, correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-07 a partir de las 8:50 p.m. y finalizadas en la madrugada del 2017-03-08.																																																																																																																																																																				
	07:00 P.M.	0.0		— P.M.	—		4	07:00 A.M.	0.0	20	— A.M.	—	* reporte en planilla del 9-03-2017, corresponde a precipitaciones del 2017-03-07 (8.6 mm).	06:00 P.M.	0.0	— P.M.	—	5	07:00 A.M.	0.0	21	07:00 A.M.	0.0	* No se trabaja el domingo 2017-03-12; no obstante, se reportan precipitaciones con corte a las 7:00 a.m. correspondientes al día anterior y corte a medio día, correspondientes al mismo domingo.	06:00 P.M.	0.0	04:45 P.M.	0.2	6	07:00 A.M.	0.0	22	07:00 A.M.	6.6	* 2017-03-13, se reportan 2.5 mm de precipitación, correspondientes a lluvias iniciadas a las 8:53 p.m. del 2017-03-12.	07:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	0.0	7	07:00 A.M.	0.0	23	07:00 A.M.	7.8	* 2017-03-19 → 14.7 mm correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-16 a las 9:08 p.m.	05:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	0.0	8	07:00 A.M.	32.0	24	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-19 → 8.3 mm correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-18 a las 2:51 p.m.	05:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	4.5	9	07:00 A.M.	8.6	25	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-25, personal sale a las 12:00 m; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones en la tarde.	05:00 P.M.	0.0	07:00 P.M.	10.4	10	07:00 A.M.	0.0	26	— A.M.	—	* 2017-03-26 no se trabaja; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones durante la tarde y noche.	04:00 P.M.	0.0	12:57 P.M.	14.4	11	07:00 A.M.	0.0	27	07:00 A.M.	3.5		11:00 P.M.	0.0	04:30 P.M.	4.3	12	07:00 A.M.	2.5	28	07:00 A.M.	0.0		12:00 P.M.	4.0	04:30 P.M.	0.2	13	07:00 A.M.	2.5	29	07:00 A.M.	2.3		04:15 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	14	07:00 A.M.	0.0	30	07:00 A.M.	0.2		05:00 P.M.	0.0	04:20 P.M.	1.0	15	07:00 A.M.	0.2	31	07:00 A.M.	2.2		04:00 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	16	07:00 A.M.	0.0					04:00 P.M.	0.0																							
4	07:00 A.M.	0.0	20	— A.M.	—	* reporte en planilla del 9-03-2017, corresponde a precipitaciones del 2017-03-07 (8.6 mm).																																																																																																																																																																				
	06:00 P.M.	0.0		— P.M.	—		5	07:00 A.M.	0.0	21	07:00 A.M.	0.0	* No se trabaja el domingo 2017-03-12; no obstante, se reportan precipitaciones con corte a las 7:00 a.m. correspondientes al día anterior y corte a medio día, correspondientes al mismo domingo.	06:00 P.M.	0.0	04:45 P.M.	0.2	6	07:00 A.M.	0.0	22	07:00 A.M.	6.6	* 2017-03-13, se reportan 2.5 mm de precipitación, correspondientes a lluvias iniciadas a las 8:53 p.m. del 2017-03-12.	07:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	0.0	7	07:00 A.M.	0.0	23	07:00 A.M.	7.8	* 2017-03-19 → 14.7 mm correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-16 a las 9:08 p.m.	05:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	0.0	8	07:00 A.M.	32.0	24	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-19 → 8.3 mm correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-18 a las 2:51 p.m.	05:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	4.5	9	07:00 A.M.	8.6	25	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-25, personal sale a las 12:00 m; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones en la tarde.	05:00 P.M.	0.0	07:00 P.M.	10.4	10	07:00 A.M.	0.0	26	— A.M.	—	* 2017-03-26 no se trabaja; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones durante la tarde y noche.	04:00 P.M.	0.0	12:57 P.M.	14.4	11	07:00 A.M.	0.0	27	07:00 A.M.	3.5		11:00 P.M.	0.0	04:30 P.M.	4.3	12	07:00 A.M.	2.5	28	07:00 A.M.	0.0		12:00 P.M.	4.0	04:30 P.M.	0.2	13	07:00 A.M.	2.5	29	07:00 A.M.	2.3		04:15 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	14	07:00 A.M.	0.0	30	07:00 A.M.	0.2		05:00 P.M.	0.0	04:20 P.M.	1.0	15	07:00 A.M.	0.2	31	07:00 A.M.	2.2		04:00 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	16	07:00 A.M.	0.0					04:00 P.M.	0.0																																		
5	07:00 A.M.	0.0	21	07:00 A.M.	0.0	* No se trabaja el domingo 2017-03-12; no obstante, se reportan precipitaciones con corte a las 7:00 a.m. correspondientes al día anterior y corte a medio día, correspondientes al mismo domingo.																																																																																																																																																																				
	06:00 P.M.	0.0		04:45 P.M.	0.2		6	07:00 A.M.	0.0	22	07:00 A.M.	6.6	* 2017-03-13, se reportan 2.5 mm de precipitación, correspondientes a lluvias iniciadas a las 8:53 p.m. del 2017-03-12.	07:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	0.0	7	07:00 A.M.	0.0	23	07:00 A.M.	7.8	* 2017-03-19 → 14.7 mm correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-16 a las 9:08 p.m.	05:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	0.0	8	07:00 A.M.	32.0	24	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-19 → 8.3 mm correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-18 a las 2:51 p.m.	05:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	4.5	9	07:00 A.M.	8.6	25	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-25, personal sale a las 12:00 m; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones en la tarde.	05:00 P.M.	0.0	07:00 P.M.	10.4	10	07:00 A.M.	0.0	26	— A.M.	—	* 2017-03-26 no se trabaja; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones durante la tarde y noche.	04:00 P.M.	0.0	12:57 P.M.	14.4	11	07:00 A.M.	0.0	27	07:00 A.M.	3.5		11:00 P.M.	0.0	04:30 P.M.	4.3	12	07:00 A.M.	2.5	28	07:00 A.M.	0.0		12:00 P.M.	4.0	04:30 P.M.	0.2	13	07:00 A.M.	2.5	29	07:00 A.M.	2.3		04:15 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	14	07:00 A.M.	0.0	30	07:00 A.M.	0.2		05:00 P.M.	0.0	04:20 P.M.	1.0	15	07:00 A.M.	0.2	31	07:00 A.M.	2.2		04:00 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	16	07:00 A.M.	0.0					04:00 P.M.	0.0																																													
6	07:00 A.M.	0.0	22	07:00 A.M.	6.6	* 2017-03-13, se reportan 2.5 mm de precipitación, correspondientes a lluvias iniciadas a las 8:53 p.m. del 2017-03-12.																																																																																																																																																																				
	07:00 P.M.	0.0		04:00 P.M.	0.0		7	07:00 A.M.	0.0	23	07:00 A.M.	7.8	* 2017-03-19 → 14.7 mm correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-16 a las 9:08 p.m.	05:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	0.0	8	07:00 A.M.	32.0	24	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-19 → 8.3 mm correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-18 a las 2:51 p.m.	05:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	4.5	9	07:00 A.M.	8.6	25	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-25, personal sale a las 12:00 m; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones en la tarde.	05:00 P.M.	0.0	07:00 P.M.	10.4	10	07:00 A.M.	0.0	26	— A.M.	—	* 2017-03-26 no se trabaja; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones durante la tarde y noche.	04:00 P.M.	0.0	12:57 P.M.	14.4	11	07:00 A.M.	0.0	27	07:00 A.M.	3.5		11:00 P.M.	0.0	04:30 P.M.	4.3	12	07:00 A.M.	2.5	28	07:00 A.M.	0.0		12:00 P.M.	4.0	04:30 P.M.	0.2	13	07:00 A.M.	2.5	29	07:00 A.M.	2.3		04:15 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	14	07:00 A.M.	0.0	30	07:00 A.M.	0.2		05:00 P.M.	0.0	04:20 P.M.	1.0	15	07:00 A.M.	0.2	31	07:00 A.M.	2.2		04:00 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	16	07:00 A.M.	0.0					04:00 P.M.	0.0																																																								
7	07:00 A.M.	0.0	23	07:00 A.M.	7.8	* 2017-03-19 → 14.7 mm correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-16 a las 9:08 p.m.																																																																																																																																																																				
	05:00 P.M.	0.0		04:00 P.M.	0.0		8	07:00 A.M.	32.0	24	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-19 → 8.3 mm correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-18 a las 2:51 p.m.	05:00 P.M.	0.0	04:00 P.M.	4.5	9	07:00 A.M.	8.6	25	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-25, personal sale a las 12:00 m; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones en la tarde.	05:00 P.M.	0.0	07:00 P.M.	10.4	10	07:00 A.M.	0.0	26	— A.M.	—	* 2017-03-26 no se trabaja; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones durante la tarde y noche.	04:00 P.M.	0.0	12:57 P.M.	14.4	11	07:00 A.M.	0.0	27	07:00 A.M.	3.5		11:00 P.M.	0.0	04:30 P.M.	4.3	12	07:00 A.M.	2.5	28	07:00 A.M.	0.0		12:00 P.M.	4.0	04:30 P.M.	0.2	13	07:00 A.M.	2.5	29	07:00 A.M.	2.3		04:15 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	14	07:00 A.M.	0.0	30	07:00 A.M.	0.2		05:00 P.M.	0.0	04:20 P.M.	1.0	15	07:00 A.M.	0.2	31	07:00 A.M.	2.2		04:00 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	16	07:00 A.M.	0.0					04:00 P.M.	0.0																																																																			
8	07:00 A.M.	32.0	24	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-19 → 8.3 mm correspondientes a lluvias iniciadas el 2017-03-18 a las 2:51 p.m.																																																																																																																																																																				
	05:00 P.M.	0.0		04:00 P.M.	4.5		9	07:00 A.M.	8.6	25	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-25, personal sale a las 12:00 m; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones en la tarde.	05:00 P.M.	0.0	07:00 P.M.	10.4	10	07:00 A.M.	0.0	26	— A.M.	—	* 2017-03-26 no se trabaja; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones durante la tarde y noche.	04:00 P.M.	0.0	12:57 P.M.	14.4	11	07:00 A.M.	0.0	27	07:00 A.M.	3.5		11:00 P.M.	0.0	04:30 P.M.	4.3	12	07:00 A.M.	2.5	28	07:00 A.M.	0.0		12:00 P.M.	4.0	04:30 P.M.	0.2	13	07:00 A.M.	2.5	29	07:00 A.M.	2.3		04:15 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	14	07:00 A.M.	0.0	30	07:00 A.M.	0.2		05:00 P.M.	0.0	04:20 P.M.	1.0	15	07:00 A.M.	0.2	31	07:00 A.M.	2.2		04:00 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	16	07:00 A.M.	0.0					04:00 P.M.	0.0																																																																														
9	07:00 A.M.	8.6	25	07:00 A.M.	0.0	* 2017-03-25, personal sale a las 12:00 m; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones en la tarde.																																																																																																																																																																				
	05:00 P.M.	0.0		07:00 P.M.	10.4		10	07:00 A.M.	0.0	26	— A.M.	—	* 2017-03-26 no se trabaja; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones durante la tarde y noche.	04:00 P.M.	0.0	12:57 P.M.	14.4	11	07:00 A.M.	0.0	27	07:00 A.M.	3.5		11:00 P.M.	0.0	04:30 P.M.	4.3	12	07:00 A.M.	2.5	28	07:00 A.M.	0.0		12:00 P.M.	4.0	04:30 P.M.	0.2	13	07:00 A.M.	2.5	29	07:00 A.M.	2.3		04:15 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	14	07:00 A.M.	0.0	30	07:00 A.M.	0.2		05:00 P.M.	0.0	04:20 P.M.	1.0	15	07:00 A.M.	0.2	31	07:00 A.M.	2.2		04:00 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	16	07:00 A.M.	0.0					04:00 P.M.	0.0																																																																																									
10	07:00 A.M.	0.0	26	— A.M.	—	* 2017-03-26 no se trabaja; no obstante, el pluviómetro registra precipitaciones durante la tarde y noche.																																																																																																																																																																				
	04:00 P.M.	0.0		12:57 P.M.	14.4		11	07:00 A.M.	0.0	27	07:00 A.M.	3.5		11:00 P.M.	0.0	04:30 P.M.	4.3	12	07:00 A.M.	2.5	28	07:00 A.M.	0.0		12:00 P.M.	4.0	04:30 P.M.	0.2	13	07:00 A.M.	2.5	29	07:00 A.M.	2.3		04:15 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	14	07:00 A.M.	0.0	30	07:00 A.M.	0.2		05:00 P.M.	0.0	04:20 P.M.	1.0	15	07:00 A.M.	0.2	31	07:00 A.M.	2.2		04:00 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	16	07:00 A.M.	0.0					04:00 P.M.	0.0																																																																																																				
11	07:00 A.M.	0.0	27	07:00 A.M.	3.5																																																																																																																																																																					
	11:00 P.M.	0.0		04:30 P.M.	4.3		12	07:00 A.M.	2.5	28	07:00 A.M.	0.0		12:00 P.M.	4.0	04:30 P.M.	0.2	13	07:00 A.M.	2.5	29	07:00 A.M.	2.3		04:15 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	14	07:00 A.M.	0.0	30	07:00 A.M.	0.2		05:00 P.M.	0.0	04:20 P.M.	1.0	15	07:00 A.M.	0.2	31	07:00 A.M.	2.2		04:00 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	16	07:00 A.M.	0.0					04:00 P.M.	0.0																																																																																																															
12	07:00 A.M.	2.5	28	07:00 A.M.	0.0																																																																																																																																																																					
	12:00 P.M.	4.0		04:30 P.M.	0.2		13	07:00 A.M.	2.5	29	07:00 A.M.	2.3		04:15 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	14	07:00 A.M.	0.0	30	07:00 A.M.	0.2		05:00 P.M.	0.0	04:20 P.M.	1.0	15	07:00 A.M.	0.2	31	07:00 A.M.	2.2		04:00 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	16	07:00 A.M.	0.0					04:00 P.M.	0.0																																																																																																																										
13	07:00 A.M.	2.5	29	07:00 A.M.	2.3																																																																																																																																																																					
	04:15 P.M.	0.0		05:00 P.M.	0.0		14	07:00 A.M.	0.0	30	07:00 A.M.	0.2		05:00 P.M.	0.0	04:20 P.M.	1.0	15	07:00 A.M.	0.2	31	07:00 A.M.	2.2		04:00 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	16	07:00 A.M.	0.0					04:00 P.M.	0.0																																																																																																																																					
14	07:00 A.M.	0.0	30	07:00 A.M.	0.2																																																																																																																																																																					
	05:00 P.M.	0.0		04:20 P.M.	1.0		15	07:00 A.M.	0.2	31	07:00 A.M.	2.2		04:00 P.M.	0.0	05:00 P.M.	0.0	16	07:00 A.M.	0.0					04:00 P.M.	0.0																																																																																																																																																
15	07:00 A.M.	0.2	31	07:00 A.M.	2.2																																																																																																																																																																					
	04:00 P.M.	0.0		05:00 P.M.	0.0																																																																																																																																																																					
16	07:00 A.M.	0.0																																																																																																																																																																								
	04:00 P.M.	0.0																																																																																																																																																																								

* Hacer una lectura en horas de la mañana y una lectura en horas de la tarde

** 1 mm de precipitación en el pluviómetro, equivale a 1 L/m²



AT S.A.S.

VERSIÓN 0.
Octubre de 2016.
Página 1 de 1.

REGISTRO DE PRECIPITACIONES

PROYECTO, CENTRAL O INSTALACIÓN: **MANEJO DE RESIDUOS DE LA COMBUSTIÓN DE CARBÓN "CENTINA" Y SU DISPOSICIÓN FINAL - TERMOCEL (CENTRAL)**

MES: ABRIL DE 2017.

DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	OBSERVACIONES / DATOS COMPARATIVOS
1	03:00 A.M.	0.0	17	03:00 A.M.	0.0	No se trabaja del 13 al 16 de abril; no obstante, se reportan en planilla los datos históricos más- trados en el pluviómetro. No se trabaja el domingo 30 de abril. el pluviómetro reporta en datos históricos. Lluvias de 1.2 mm el 2017-04-30
	04:00 P.M.	0.2		05:00 P.M.	0.0	
2	04:58 A.M.	0.2	18	07:00 A.M.	0.0	
	12:00 P.M.	0.0		05:00 P.M.	1.5	
3	07:00 A.M.	0.0	19	07:00 A.M.	0.0	
	05:00 P.M.	0.0		05:00 P.M.	0.0	
4	07:00 A.M.	0.0	20	07:00 A.M.	11.6	
	05:00 P.M.	0.0		05:00 P.M.	0.2	
5	07:00 A.M.	0.0	21	07:00 A.M.	4.8	
	05:00 P.M.	0.0		04:30 P.M.	4.5	
6	07:00 A.M.	0.0	22	07:00 A.M.	0.2	
	05:00 P.M.	0.0		12:00 P.M.	0.0	
7	07:00 A.M.	0.0	23	— A.M.	—	
	05:00 P.M.	0.0		— P.M.	—	
8	07:00 A.M.	0.0	24	07:00 A.M.	0.0	
	12:00 P.M.	0.0		05:00 P.M.	4.3	
9	— A.M.	—	25	07:00 A.M.	2.0	
	— P.M.	—		05:00 P.M.	0.0	
10	07:00 A.M.	0.0	26	07:00 A.M.	4.8	
	05:00 P.M.	5.0		05:00 P.M.	0.0	
11	07:00 A.M.	5.1	27	07:00 A.M.	0.0	
	05:00 P.M.	0.0		05:00 P.M.	0.0	
12	07:00 A.M.	0.0	28	07:00 A.M.	1.2	
	05:00 P.M.	0.7		05:00 P.M.	0.0	
13	— A.M.	—	29	07:00 A.M.	0.0	
	— P.M.	—		12:00 P.M.	0.0	
14	08:53 A.M.	0.7	30	02:57 A.M.	1.2	
	— P.M.	—		— P.M.	—	
15	— A.M.	—	31	N.A. A.M.	N.A.	
	— P.M.	—		N.A. P.M.	N.A.	
16	— A.M.	—				
	— P.M.	—				

* Hacer una lectura en horas de la mañana y una lectura en horas de la tarde

** 1 mm de precipitación en el pluviómetro, equivale a 1 L/m²



AT S.A.S.

VERSIÓN 0.
Octubre de 2016.
Página 1 de 1.

REGISTRO DE PRECIPITACIONES

PROYECTO, CENTRAL O INSTALACIÓN: MANEJO DE RESIDUOS DE LA COMBUSTIÓN DE CARBÓN
CENIZA Y SU DISPOSICIÓN FINAL - CENTRAL TERMOCÉNTRICA.

MES: MAYO DE 2017

DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	OBSERVACIONES / DATOS COMPARATIVOS
1	A. M.	—	17	07:00 A. M.	0,0	* 2017-05-08, se reportan 2,2 mm de Precipitación, correspondientes a lluvias iniciadas el domingo 2017-05-07 a las 8:23 P.M. * 2017-05-09, → 1,2 mm correspondientes al 2017-05-08 después de las 6:49 P.M. * 2017-05-14, No se trabaja, se reportan datos históricos en pluviómetro, con 2,7 mm de Precipitación. * 2017-05-15 → 41,1 mm de Precipitación correspondiente a lluvias iniciadas el domingo 2017-05-14. * 2017-05-16 → 4,0 mm de Precipitación iniciados el 2017-05-15 en horas de la tarde y noche. * 2017-05-24 → 1,2 mm de precipitación iniciados el 2017-05-23 en horas de la noche.
	P. M.	—		05:00 P. M.	3,3	
2	07:00 A. M.	1,0	18	07:00 A. M.	0,0	
	05:00 P. M.	3,8		05:00 P. M.	0,0	
3	07:00 A. M.	2,7	19	07:00 A. M.	0,0	
	04:55 P. M.	1,7		05:00 P. M.	0,0	
4	07:00 A. M.	0,8	20	07:00 A. M.	0,0	
	05:00 P. M.	0,0		12:00 P. M.	0,0	
5	07:00 A. M.	0,0	21	A. M.	—	
	05:00 P. M.	1,5		P. M.	—	
6	07:00 A. M.	0,7	22	07:00 A. M.	1,0	
	12:00 P. M.	0,0		05:00 P. M.	0,7	
7	A. M.	—	23	07:00 A. M.	0,0	
	P. M.	—		05:00 P. M.	0,0	
8	07:00 A. M.	2,2	24	07:00 A. M.	1,2	
	05:00 P. M.	0,0		05:00 P. M.	0,7	
9	07:00 A. M.	1,2	25	07:00 A. M.	0,0	
	08:00 P. M.	3,3		05:00 P. M.	0,0	
10	07:00 A. M.	5,8	26	07:00 A. M.	0,0	
	05:00 P. M.	0,0		05:00 P. M.	0,0	
11	07:00 A. M.	0,0	27	07:00 A. M.	0,0	
	05:00 P. M.	0,0		05:00 P. M.	0,0	
12	07:00 A. M.	8,8	28	A. M.	0,0	
	05:00 P. M.	0,0		P. M.	0,0	
13	07:00 A. M.	35,0	29	A. M.	0,0	
	12:00 P. M.	0,0		P. M.	0,0	
14	12:00 A. M.	2,7	30	07:00 A. M.	0,0	
	P. M.	—		05:00 P. M.	0,0	
15	06:00 A. M.	41,1	31	07:00 A. M.	0,0	
	05:00 P. M.	0,0		05:00 P. M.	0,0	
16	07:00 A. M.	4,0				
	05:00 P. M.	0,0				

* Hacer una lectura en horas de la mañana y una lectura en horas de la tarde

** 1 mm de precipitación en el pluviómetro, equivale a 1 L/m²



AT S.A.S.

VERSIÓN 0.
 Octubre de 2016.
 Página 1 de 1.

REGISTRO DE PRECIPITACIONES

Muestreo de residuos de la combustión de carbón "Centrop"
 Proyecto, Central o Instalación: "y su disposición final "Centrotemagipo"

MES: Junio de 2017

DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	OBSERVACIONES / DATOS COMPARATIVOS
1	7:00 - A.M.	0,0 mm	17	7:00 A.M.	0,0 mm	* 07/06/17 registrados 0,7 mm de precipitación iniciados a las 3:43 pm
	17:00 - P.M.	0,0 mm		5:00 P.M.	0,0 mm	
2	7:00 A.M.	0,0 mm	18	7:00 A.M.	0,0 mm	* Día Domingo 11/06/17 No se labora se registran 7,6 mm iniciados a las 2:16 pm
	5:00 P.M.	0,0 mm		5:00 P.M.	1,0 mm	
3	7:00 A.M.	0,0 mm	19	— A.M.	—	* 12/06/17 registrados 11,9 mm de precipitación a las 1:29 pm
	5:00 P.M.	0,0 mm		— P.M.	—	
4	— A.M.	—	20	7:00 A.M.	0,0 mm	* 15/06/17 14,7 mm lluvia iniciados a las 4:42 am
	— P.M.	—		5:00 P.M.	4,0 mm	* Domingo 18/06/17 No se labora se registran 1,0 mm 5:30 pm
5	7:00 A.M.	0,0 mm	21	7:00 A.M.	0,0 mm	* 20/06/17 4,0 mm de precipitación iniciados a 5:35 pm
	5:00 P.M.	0,0 mm		5:00 P.M.	0,5 mm	* 21/06/17 0,5 mm de precipitación iniciados 10:46 pm
6	7:00 A.M.	0,0 mm	22	7:00 A.M.	0,0 mm	* 22/06/17 0,2 mm de precipitación iniciados a las 1:22 pm
	5:00 P.M.	0,0 mm		5:00 P.M.	0,2 mm	
7	7:00 A.M.	0,0 mm	23	7:00 A.M.	1,2 mm	* 23/06/17 1,2 mm de precipitación iniciados a las 8:10 am
	5:00 P.M.	0,0 mm		5:00 P.M.	0,0 mm	
8	7:00 A.M.	0,0 mm	24	7:00 A.M.	0,0 mm	* 26/06/17 lluvia iniciada a las 8:22 pm lunes festivo No se labora (3,5 mm)
	5:00 P.M.	0,0 mm		5:00 P.M.	0,0 mm	
9	7:00 A.M.	0,0 mm	25	— A.M.	—	* 27/06/17 lluvia iniciados a las 12:02 pm se registran 0,5 mm
	5:00 P.M.	0,7 mm		— P.M.	—	
10	7:00 A.M.	0,0 mm	26	7:00 A.M.	0,0 mm	
	5:00 P.M.	0,0 mm		5:00 P.M.	3,5 mm	
11	7:00 A.M.	0,0 mm	27	7:00 A.M.	0,0 mm	
	5:00 P.M.	7,6 mm		5:00 P.M.	0,5 mm	
12	7:00 A.M.	0,0 mm	28	7:00 A.M.	0,0 mm	
	5:00 P.M.	11,9 mm		5:00 P.M.	0,0 mm	
13	7:00 A.M.	0,0 mm	29	7:00 A.M.	0,0 mm	
	5:00 P.M.	0,0 mm		5:00 P.M.	0,0 mm	
14	7:00 A.M.	0,0 mm	30	7:00 A.M.	0,0 mm	
	5:00 P.M.	0,0 mm		5:00 P.M.	0,0 mm	
15	7:00 A.M.	14,7 mm	31	— A.M.	—	
	5:00 P.M.	0,0 mm		— P.M.	—	
16	7:00 A.M.	0,0 mm				
	5:00 P.M.	0,0 mm				

* Hacer una lectura en horas de la mañana y una lectura en horas de la tarde

** 1 mm de precipitación en el pluviómetro, equivale a 1 L/m²



AT S.A.S.

VERSIÓN 0.
 Octubre de 2016.
 Página 1 de 1.

REGISTRO DE PRECIPITACIONES

PROYECTO, CENTRAL O INSTALACIÓN:

Mangro de residuos de la combustión del carbón "Ceniza" y su
 disposición final "Parque Temagipa"

MES: Julio 2017

DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	OBSERVACIONES / DATOS COMPARATIVOS
1	7:00 - A.M.	0,2 mm	17	7:00 A.M.	0,0 mm	* Se reportan 0,2 mm el 1 Julio 17 iniciados a las 30/06/17 a las 12:00.
	3:00 - P.M.	0,0 mm		8:00 P.M.	0,2 mm	
2	— A.M.	—	18	7:00 A.M.	0,0 mm	* 4/07/17 se reportan 4,0 mm de precipitación iniciada a las 11:49 am
	— P.M.	—		5:00 P.M.	3,3 mm	
3	— A.M.	—	19	7:00 A.M.	0,0 mm	* 5/07/17 lluvia iniciada a las 10:26 pm (1,5 mm)
	— P.M.	—		5:00 P.M.	3,0 mm	
4	7:00 - A.M.	4,0 mm	20	7:00 A.M.	0,0 mm	* 10/07/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 12:48 pm
	5:00 - P.M.	0,0 mm		5:00 P.M.	0,0 mm	
5	7:00 A.M.	0,0 mm	21	7:00 A.M.	0,0 mm	* 11/3/17 lluvia iniciada a las 11:26 am (0,3 mm)
	3:00 P.M.	1,5 mm		5:00 P.M.	0,3 mm	
6	7:00 A.M.	0,0 mm	22	7:00 A.M.	0,0 mm	* 12/3/17 lluvia iniciada en la madrugada 1:14 am equipo registra 6,8 mm precipitación
	3:00 P.M.	0,0 mm		5:00 P.M.	0,2 mm	
7	7:00 A.M.	0,2 mm	23	— A.M.	—	* 13/3/17 8,5 mm precipitación registrada a las 4:34 am y 4,8 mm iniciados a las 8:04 pm
	5:00 P.M.	0,0 mm		— P.M.	—	
8	7:00 A.M.	0,0 mm	24	7:00 A.M.	0,0 mm	* 16/3/17 Día Domingo se registran 6,0 mm precipitación iniciada a las 4:48 pm No se labora
	5:00 P.M.	0,0 mm		5:00 P.M.	0,0 mm	
9	— A.M.	—	25	7:00 A.M.	0,3 mm	* 17/3/17 lluvia iniciada a las 1:50 pm se registran 0,2 mm
	— P.M.	—		5:00 P.M.	0,0 mm	
10	7:00 A.M.	0,2 mm	26	7:00 A.M.	0,0 mm	* 18/3/17 se registran 3,3 mm iniciados a las 2:46 pm
	5:00 P.M.	6,0 mm		5:00 P.M.	0,0 mm	
11	7:00 A.M.	0,3 mm	27	7:00 A.M.	0,0 mm	* 19/3/17 se registran 3,0 mm iniciados a las 8:13 pm
	5:00 P.M.	0,0 mm		5:00 P.M.	0,2 mm	
12	7:00 A.M.	6,8 mm	28	7:00 A.M.	0,0 mm	* 25/3/17 lluvia iniciada en la madrugada 2:52 am
	5:00 P.M.	0,0 mm		5:00 P.M.	0,0 mm	
13	7:00 A.M.	0,0 mm	29	7:00 A.M.	0,0 mm	* 27/03/17 se registran 0,2 mm precipitación iniciados a las 1:01 pm
	5:00 P.M.	0,0 mm		5:00 P.M.	0,0 mm	
14	7:00 A.M.	0,0 mm	30	— A.M.	—	* 31/3/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciados a las 5:53 am.
	5:00 P.M.	0,0 mm		— P.M.	—	
15	7:00 A.M.	0,5 mm	31	7:00 A.M.	0,5 mm	
	5:00 P.M.	4,8 mm		5:00 P.M.	0,0 mm	
16	7:00 A.M.	0,0 mm				
	5:00 P.M.	6,0 mm				

* Hacer una lectura en horas de la mañana y una lectura en horas de la tarde
 ** 1 mm de precipitación en el pluviómetro, equivale a 1 L/m²



AT S.A.S.

VERSIÓN 0.
 Octubre de 2016.
 Página 1 de 1.

REGISTRO DE PRECIPITACIONES

Manejo de residuos de la combustión del
 Proyecto, Central o Instalación: Cortón "Ceniza" y su disposición final

MES: Agosto 2017

DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	OBSERVACIONES / DATOS COMPARATIVOS
1	7:00 A.M.	0,0	17	7:00 A.M.	0,0	* 18/8/17 se reportan 5,5 mm iniciados a los 14:10
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	
2	7:00 A.M.	0,0	18	7:00 A.M.	0,0	con iniciados a los 8:20 am
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	3,5	
3	7:00 A.M.	0,0	19	7:00 A.M.	0,0	a los 5:15 am
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	
4	7:00 A.M.	0,0	20	— A.M.	—	Iniciados a los 8:35 am
	5:00 P.M.	0,0		— P.M.	—	
5	7:00 A.M.	0,0	21	7:00 A.M.	2,0	y 0,2 mm iniciados a las 10:14 pm
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	
6	— A.M.	—	22	7:00 A.M.	0,2	
	— P.M.	—		5:00 P.M.	0,0	
7	— A.M.	—	23	7:00 A.M.	0,0	
	— P.M.	—		5:00 P.M.	0,0	
8	7:00 A.M.	0,0	24	7:00 A.M.	3,0	
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	
9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,0	
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	
10	7:00 A.M.	0,0	26	7:00 A.M.	0,0	
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	
11	7:00 A.M.	0,0	27	— A.M.	—	
	5:00 P.M.	0,0		— P.M.	—	
12	7:00 A.M.	0,0	28	7:00 A.M.	0,0	
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	
13	— A.M.	—	29	7:00 A.M.	0,0	
	— P.M.	—		5:00 P.M.	0,0	
14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	1,2	
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,2	
15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0	
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	
16	7:00 A.M.	0,0				
	5:00 P.M.	0,0				

* Hacer una lectura en horas de la mañana y una lectura en horas de la tarde

** 1 mm de precipitación en el pluviómetro, equivale a 1 L/m²



AT S.A.S.

VERSIÓN 0.
 Octubre de 2016.
 Página 1 de 1.

REGISTRO DE PRECIPITACIONES

PROYECTO, CENTRAL O INSTALACIÓN:

Municipio de Esmeraldas de la combustión del carbón
 "Centra" ya en disposición final.

MES: Septiembre 2017

DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	OBSERVACIONES / DATOS COMPARATIVOS
1	7:00 A.M.	0,0	17	— A.M.	—	* 2/9/17 se registran 11,4 mm de precipitación, lluvias iniciadas a las 2:22 am
	8:00 P.M.	0,0		— P.M.	—	
2	7:00 A.M.	11,4	18	7:00 A.M.	1,0	* 3/9/17 se registran 9,2 mm de precipitación, lluvias iniciadas a las 12:52 pm (Día Domingo, No se labora)
	8:00 P.M.	0,0		8:00 P.M.	0,0	
3	7:00 A.M.	0,0	19	7:00 A.M.	0,0	* 7/9/17 se registran 1,0 mm de precipitación, lluvias iniciadas a las 1:28 pm
	8:00 P.M.	0,2		8:00 P.M.	9,6	
4	7:00 A.M.	0,0	20	7:00 A.M.	0,0	* 8/9/17 se registran 1,2 mm de precipitación, lluvias iniciadas a las 6:29 am
	8:00 P.M.	0,0		8:00 P.M.	0,5	
5	7:00 A.M.	0,0	21	7:00 A.M.	0,0	* 9/9/17 se registran 0,2 mm de precipitación, lluvias iniciadas a las 1:34 pm
	8:00 P.M.	0,0		8:00 P.M.	0,0	
6	7:00 A.M.	0,0	22	7:00 A.M.	0,0	* 10/9/17 se registran 2,2 mm de precipitación, lluvias iniciadas a las 8:15 pm (Día Domingo, No se labora)
	8:00 P.M.	0,0		8:00 P.M.	0,0	
7	7:00 A.M.	0,0	23	7:00 A.M.	0,5	* 12/9/17 se registran 0,2 mm de precipitación, lluvias iniciadas a las 8:52 pm
	8:00 P.M.	1,0		8:00 P.M.	0,0	
8	7:00 A.M.	1,2	24	— A.M.	0,0	* 13/9/17 se registran 1,0 mm de precipitación, lluvias iniciadas a las 1:24 am
	8:00 P.M.	0,0		— P.M.	0,0	
9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,0	* 19/9/17 se registran 9,6 mm de precipitación, lluvias iniciadas a las 3:09 pm
	8:00 P.M.	0,2		8:00 P.M.	0,0	
10	7:00 A.M.	0,0	26	7:00 A.M.	2,5	* 20/9/17 se registran 0,5 mm de precipitación, lluvias iniciadas a las 4:49 pm.
	8:00 P.M.	2,2		8:00 P.M.	0,0	
11	7:00 A.M.	0,0	27	7:00 A.M.	0,0	* 23/9/17 se registran 0,5 mm de precipitación, lluvias iniciadas a las 11:46 am
	8:00 P.M.	0,0		8:00 P.M.	0,0	
12	7:00 A.M.	0,0	28	7:00 A.M.	0,0	* 26/9/17 se registran 3,5 mm de precipitación, lluvias iniciadas a las 9:06 am.
	8:00 P.M.	0,2		8:00 P.M.	0,0	
13	7:00 A.M.	0,0	29	7:00 A.M.	0,0	* 30/9/17 se registran 0,5 mm de precipitación, lluvias iniciadas a las 12:39 am y 3:05 pm
	8:00 P.M.	0,0		8:00 P.M.	0,0	
14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,5	
	8:00 P.M.	0,0		8:00 P.M.	0,5	
15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	
	8:00 P.M.	0,0		— P.M.	—	
16	7:00 A.M.	0,0				
	8:00 P.M.	0,0				

* Hacer una lectura en horas de la mañana y una lectura en horas de la tarde

** 1 mm de precipitación en el pluviómetro, equivale a 1 L/m²



AT S.A.S.

VERSIÓN 0.
Octubre de 2016.
Página 1 de 1.

REGISTRO DE PRECIPITACIONES

Manejo de residuos de la combustión del cartón

PROYECTO, CENTRAL O INSTALACIÓN: "Ceniza" y su disposición final.

MES: Octubre 2017

DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	OBSERVACIONES / DATOS COMPARATIVOS
1	A. M.	—	17	3:00 A. M.	0,0	* 2/10/17 se registran 3,3 mm iniciados a las 4:32 pm
	P. M.	—		3:00 P. M.	0,0	* 6/10/17 se registran 0,2 mm iniciados a las 5:33 pm
2	7:00 A. M.	0,0	18	3:00 A. M.	0,2	* 8/10/17 se registran 1,7 mm de precipitación iniciados a las 11:11 am
	5:00 P. M.	3,3		3:00 P. M.	0,0	
3	7:00 A. M.	0,0	19	7:00 A. M.	0,0	* 9/10/17 se registran 0,7 mm de precipitación iniciados a las 1:30 pm
	5:00 P. M.	0,0		3:00 P. M.	0,0	
4	7:00 A. M.	0,0	20	3:00 A. M.	0,0	* 10/10/17 se registran 10,4 mm de precipitación iniciados a las 11:53 pm.
	5:00 P. M.	0,0		3:00 P. M.	0,0	
5	7:00 A. M.	0,0	21	7:00 A. M.	0,0	* 11/10/17 se registran 0,3 mm de precipitación iniciados a las 1:08 am.
	5:00 P. M.	0,0		3:00 P. M.	0,0	
6	7:00 A. M.	0,0	22	A. M.	—	* 13/10/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciados a las 1:36 am
	5:00 P. M.	0,2		P. M.	—	
7	7:00 A. M.	0,0	23	3:00 A. M.	0,0	* 15/10/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciados a las 5:01 am
	5:00 P. M.	0,0		3:00 P. M.	0,0	
8	7:00 A. M.	1,7	24	7:00 A. M.	0,0	* 18/10/2017 se registran 0,2 mm de precipitación iniciados a las 5:58 am
	5:00 P. M.	0,0		5:00 P. M.	0,0	
9	7:00 A. M.	0,0	25	7:00 A. M.	0,0	* 26/10/17 se registran 2,0 mm de precipitación iniciados a las 12:03 pm
	5:00 P. M.	0,3		5:00 P. M.	0,0	
10	7:00 A. M.	0,0	26	7:00 A. M.	0,0	* 23/10/17 se registran 1,0 mm de precipitación iniciados a las 2:32 pm
	5:00 P. M.	10,4		5:00 P. M.	2,0	
11	7:00 A. M.	0,3	27	7:00 A. M.	0,0	* 28/10/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciados a las 3:46 pm
	5:00 P. M.	0,0		5:00 P. M.	1,0	
12	7:00 A. M.	0,0	28	7:00 A. M.	0,0	* 29/10/17 se registran 5,3 mm de precipitación iniciados a las 3:21 pm.
	5:00 P. M.	0,0		5:00 P. M.	0,2	
13	7:00 A. M.	0,3	29	7:00 A. M.	0,0	* 30/10/17 se registran 1,7 mm de precipitación iniciados a las 11:19 pm
	5:00 P. M.	0,0		5:00 P. M.	5,3	
14	7:00 A. M.	0,0	30	7:00 A. M.	0,0	
	5:00 P. M.	0,0		5:00 P. M.	1,7	
15	7:00 A. M.	0,2	31	7:00 A. M.	0,0	
	5:00 P. M.	0,0		5:00 P. M.	0,0	
16	A. M.	—				
	P. M.	—				

* Hacer una lectura en horas de la mañana y una lectura en horas de la tarde

** 1 mm de precipitación en el pluviómetro, equivale a 1 L/m²



AT S.A.S.

VERSIÓN 0.
Octubre de 2016.
Página 1 de 1.

REGISTRO DE PRECIPITACIONES
Manejo de residuos de la construcción del carbon, "centro"
y disposición final

PROYECTO, CENTRAL O INSTALACIÓN:

MES: Noviembre 2017

DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	OBSERVACIONES / DATOS COMPARATIVOS																																																																																																																																																																				
1	7:00 A.M.	0,0	17	7:00 A.M.	0,0	* 11/11/17 se registran 23,1 mm de precipitación, lluvia iniciada a las 4:44 pm																																																																																																																																																																				
	5:00 P.M.	23,1		5:00 P.M.	0,0		2	7:00 A.M.	0,2	18	7:00 A.M.	0,0	* 2/11/17 se registran 0,2 mm a las 8:03 am y 3,8 mm de precipitación iniciada a las 8:37 pm	5:00 P.M.	5,8	5:00 P.M.	1,0	3	7:00 A.M.	0,0	19	7:00 A.M.	0,2	* 3/11/17 se registran 3,0 mm de precipitación iniciada a las 1:05 pm	5:00 P.M.	3,0	5:00 P.M.	22,3	4	7:00 A.M.	1,7	20	7:00 A.M.	0,2	* 4/11/17 se registran 1,7 mm de precipitación iniciada a las 12:32 am (interrumpida)	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	5	7:00 A.M.	0,2	21	7:00 A.M.	0,0	* 5/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 6:56 am.	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	6	— A.M.	—	22	7:00 A.M.	0,0	* 9/11/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 6:18 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	7	7:00 A.M.	0,0	23	7:00 A.M.	0,0	* 10/11/17 se registran 12,9 mm de precipitación iniciada a las 6:31 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	8	7:00 A.M.	0,0	24	7:00 A.M.	0,2	* 11/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 4:04 am	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,2	* 14/11/17 se registran 22,0 mm de precipitación iniciada a las 3:30 pm.	5:00 P.M.	0,5	5:00 P.M.	0,0	10	7:00 A.M.	0,0	26	— A.M.	—	* 18/11/17 se registran 1,0 mm de precipitación iniciada a las 12:41 pm	5:00 P.M.	12,9	— P.M.	—	11	7:00 A.M.	0,2	27	7:00 A.M.	0,0	* 19/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 2:31 am y 22,8 mm a las 5:27 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	— A.M.	—	28	7:00 A.M.	0,0	* 20/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 3:16 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	13	— A.M.	—	29	7:00 A.M.	0,0	* 21/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 8:42 am.	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0	* 25/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 7:12 am.	5:00 P.M.	22,0	5:00 P.M.	4,3	15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	* 30/11/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 5:46 pm	5:00 P.M.	0,0	— P.M.	—	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0	
2	7:00 A.M.	0,2	18	7:00 A.M.	0,0	* 2/11/17 se registran 0,2 mm a las 8:03 am y 3,8 mm de precipitación iniciada a las 8:37 pm																																																																																																																																																																				
	5:00 P.M.	5,8		5:00 P.M.	1,0		3	7:00 A.M.	0,0	19	7:00 A.M.	0,2	* 3/11/17 se registran 3,0 mm de precipitación iniciada a las 1:05 pm	5:00 P.M.	3,0	5:00 P.M.	22,3	4	7:00 A.M.	1,7	20	7:00 A.M.	0,2	* 4/11/17 se registran 1,7 mm de precipitación iniciada a las 12:32 am (interrumpida)	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	5	7:00 A.M.	0,2	21	7:00 A.M.	0,0	* 5/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 6:56 am.	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	6	— A.M.	—	22	7:00 A.M.	0,0	* 9/11/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 6:18 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	7	7:00 A.M.	0,0	23	7:00 A.M.	0,0	* 10/11/17 se registran 12,9 mm de precipitación iniciada a las 6:31 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	8	7:00 A.M.	0,0	24	7:00 A.M.	0,2	* 11/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 4:04 am	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,2	* 14/11/17 se registran 22,0 mm de precipitación iniciada a las 3:30 pm.	5:00 P.M.	0,5	5:00 P.M.	0,0	10	7:00 A.M.	0,0	26	— A.M.	—	* 18/11/17 se registran 1,0 mm de precipitación iniciada a las 12:41 pm	5:00 P.M.	12,9	— P.M.	—	11	7:00 A.M.	0,2	27	7:00 A.M.	0,0	* 19/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 2:31 am y 22,8 mm a las 5:27 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	— A.M.	—	28	7:00 A.M.	0,0	* 20/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 3:16 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	13	— A.M.	—	29	7:00 A.M.	0,0	* 21/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 8:42 am.	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0	* 25/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 7:12 am.	5:00 P.M.	22,0	5:00 P.M.	4,3	15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	* 30/11/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 5:46 pm	5:00 P.M.	0,0	— P.M.	—	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0												
3	7:00 A.M.	0,0	19	7:00 A.M.	0,2	* 3/11/17 se registran 3,0 mm de precipitación iniciada a las 1:05 pm																																																																																																																																																																				
	5:00 P.M.	3,0		5:00 P.M.	22,3		4	7:00 A.M.	1,7	20	7:00 A.M.	0,2	* 4/11/17 se registran 1,7 mm de precipitación iniciada a las 12:32 am (interrumpida)	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	5	7:00 A.M.	0,2	21	7:00 A.M.	0,0	* 5/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 6:56 am.	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	6	— A.M.	—	22	7:00 A.M.	0,0	* 9/11/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 6:18 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	7	7:00 A.M.	0,0	23	7:00 A.M.	0,0	* 10/11/17 se registran 12,9 mm de precipitación iniciada a las 6:31 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	8	7:00 A.M.	0,0	24	7:00 A.M.	0,2	* 11/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 4:04 am	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,2	* 14/11/17 se registran 22,0 mm de precipitación iniciada a las 3:30 pm.	5:00 P.M.	0,5	5:00 P.M.	0,0	10	7:00 A.M.	0,0	26	— A.M.	—	* 18/11/17 se registran 1,0 mm de precipitación iniciada a las 12:41 pm	5:00 P.M.	12,9	— P.M.	—	11	7:00 A.M.	0,2	27	7:00 A.M.	0,0	* 19/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 2:31 am y 22,8 mm a las 5:27 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	— A.M.	—	28	7:00 A.M.	0,0	* 20/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 3:16 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	13	— A.M.	—	29	7:00 A.M.	0,0	* 21/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 8:42 am.	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0	* 25/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 7:12 am.	5:00 P.M.	22,0	5:00 P.M.	4,3	15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	* 30/11/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 5:46 pm	5:00 P.M.	0,0	— P.M.	—	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																							
4	7:00 A.M.	1,7	20	7:00 A.M.	0,2	* 4/11/17 se registran 1,7 mm de precipitación iniciada a las 12:32 am (interrumpida)																																																																																																																																																																				
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0		5	7:00 A.M.	0,2	21	7:00 A.M.	0,0	* 5/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 6:56 am.	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	6	— A.M.	—	22	7:00 A.M.	0,0	* 9/11/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 6:18 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	7	7:00 A.M.	0,0	23	7:00 A.M.	0,0	* 10/11/17 se registran 12,9 mm de precipitación iniciada a las 6:31 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	8	7:00 A.M.	0,0	24	7:00 A.M.	0,2	* 11/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 4:04 am	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,2	* 14/11/17 se registran 22,0 mm de precipitación iniciada a las 3:30 pm.	5:00 P.M.	0,5	5:00 P.M.	0,0	10	7:00 A.M.	0,0	26	— A.M.	—	* 18/11/17 se registran 1,0 mm de precipitación iniciada a las 12:41 pm	5:00 P.M.	12,9	— P.M.	—	11	7:00 A.M.	0,2	27	7:00 A.M.	0,0	* 19/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 2:31 am y 22,8 mm a las 5:27 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	— A.M.	—	28	7:00 A.M.	0,0	* 20/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 3:16 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	13	— A.M.	—	29	7:00 A.M.	0,0	* 21/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 8:42 am.	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0	* 25/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 7:12 am.	5:00 P.M.	22,0	5:00 P.M.	4,3	15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	* 30/11/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 5:46 pm	5:00 P.M.	0,0	— P.M.	—	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																		
5	7:00 A.M.	0,2	21	7:00 A.M.	0,0	* 5/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 6:56 am.																																																																																																																																																																				
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0		6	— A.M.	—	22	7:00 A.M.	0,0	* 9/11/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 6:18 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	7	7:00 A.M.	0,0	23	7:00 A.M.	0,0	* 10/11/17 se registran 12,9 mm de precipitación iniciada a las 6:31 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	8	7:00 A.M.	0,0	24	7:00 A.M.	0,2	* 11/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 4:04 am	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,2	* 14/11/17 se registran 22,0 mm de precipitación iniciada a las 3:30 pm.	5:00 P.M.	0,5	5:00 P.M.	0,0	10	7:00 A.M.	0,0	26	— A.M.	—	* 18/11/17 se registran 1,0 mm de precipitación iniciada a las 12:41 pm	5:00 P.M.	12,9	— P.M.	—	11	7:00 A.M.	0,2	27	7:00 A.M.	0,0	* 19/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 2:31 am y 22,8 mm a las 5:27 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	— A.M.	—	28	7:00 A.M.	0,0	* 20/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 3:16 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	13	— A.M.	—	29	7:00 A.M.	0,0	* 21/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 8:42 am.	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0	* 25/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 7:12 am.	5:00 P.M.	22,0	5:00 P.M.	4,3	15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	* 30/11/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 5:46 pm	5:00 P.M.	0,0	— P.M.	—	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																													
6	— A.M.	—	22	7:00 A.M.	0,0	* 9/11/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 6:18 pm																																																																																																																																																																				
	— P.M.	—		5:00 P.M.	0,0		7	7:00 A.M.	0,0	23	7:00 A.M.	0,0	* 10/11/17 se registran 12,9 mm de precipitación iniciada a las 6:31 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	8	7:00 A.M.	0,0	24	7:00 A.M.	0,2	* 11/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 4:04 am	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,2	* 14/11/17 se registran 22,0 mm de precipitación iniciada a las 3:30 pm.	5:00 P.M.	0,5	5:00 P.M.	0,0	10	7:00 A.M.	0,0	26	— A.M.	—	* 18/11/17 se registran 1,0 mm de precipitación iniciada a las 12:41 pm	5:00 P.M.	12,9	— P.M.	—	11	7:00 A.M.	0,2	27	7:00 A.M.	0,0	* 19/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 2:31 am y 22,8 mm a las 5:27 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	— A.M.	—	28	7:00 A.M.	0,0	* 20/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 3:16 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	13	— A.M.	—	29	7:00 A.M.	0,0	* 21/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 8:42 am.	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0	* 25/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 7:12 am.	5:00 P.M.	22,0	5:00 P.M.	4,3	15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	* 30/11/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 5:46 pm	5:00 P.M.	0,0	— P.M.	—	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																								
7	7:00 A.M.	0,0	23	7:00 A.M.	0,0	* 10/11/17 se registran 12,9 mm de precipitación iniciada a las 6:31 pm																																																																																																																																																																				
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0		8	7:00 A.M.	0,0	24	7:00 A.M.	0,2	* 11/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 4:04 am	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,2	* 14/11/17 se registran 22,0 mm de precipitación iniciada a las 3:30 pm.	5:00 P.M.	0,5	5:00 P.M.	0,0	10	7:00 A.M.	0,0	26	— A.M.	—	* 18/11/17 se registran 1,0 mm de precipitación iniciada a las 12:41 pm	5:00 P.M.	12,9	— P.M.	—	11	7:00 A.M.	0,2	27	7:00 A.M.	0,0	* 19/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 2:31 am y 22,8 mm a las 5:27 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	— A.M.	—	28	7:00 A.M.	0,0	* 20/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 3:16 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	13	— A.M.	—	29	7:00 A.M.	0,0	* 21/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 8:42 am.	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0	* 25/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 7:12 am.	5:00 P.M.	22,0	5:00 P.M.	4,3	15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	* 30/11/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 5:46 pm	5:00 P.M.	0,0	— P.M.	—	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																			
8	7:00 A.M.	0,0	24	7:00 A.M.	0,2	* 11/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 4:04 am																																																																																																																																																																				
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0		9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,2	* 14/11/17 se registran 22,0 mm de precipitación iniciada a las 3:30 pm.	5:00 P.M.	0,5	5:00 P.M.	0,0	10	7:00 A.M.	0,0	26	— A.M.	—	* 18/11/17 se registran 1,0 mm de precipitación iniciada a las 12:41 pm	5:00 P.M.	12,9	— P.M.	—	11	7:00 A.M.	0,2	27	7:00 A.M.	0,0	* 19/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 2:31 am y 22,8 mm a las 5:27 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	— A.M.	—	28	7:00 A.M.	0,0	* 20/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 3:16 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	13	— A.M.	—	29	7:00 A.M.	0,0	* 21/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 8:42 am.	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0	* 25/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 7:12 am.	5:00 P.M.	22,0	5:00 P.M.	4,3	15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	* 30/11/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 5:46 pm	5:00 P.M.	0,0	— P.M.	—	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																														
9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,2	* 14/11/17 se registran 22,0 mm de precipitación iniciada a las 3:30 pm.																																																																																																																																																																				
	5:00 P.M.	0,5		5:00 P.M.	0,0		10	7:00 A.M.	0,0	26	— A.M.	—	* 18/11/17 se registran 1,0 mm de precipitación iniciada a las 12:41 pm	5:00 P.M.	12,9	— P.M.	—	11	7:00 A.M.	0,2	27	7:00 A.M.	0,0	* 19/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 2:31 am y 22,8 mm a las 5:27 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	— A.M.	—	28	7:00 A.M.	0,0	* 20/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 3:16 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	13	— A.M.	—	29	7:00 A.M.	0,0	* 21/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 8:42 am.	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0	* 25/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 7:12 am.	5:00 P.M.	22,0	5:00 P.M.	4,3	15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	* 30/11/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 5:46 pm	5:00 P.M.	0,0	— P.M.	—	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																																									
10	7:00 A.M.	0,0	26	— A.M.	—	* 18/11/17 se registran 1,0 mm de precipitación iniciada a las 12:41 pm																																																																																																																																																																				
	5:00 P.M.	12,9		— P.M.	—		11	7:00 A.M.	0,2	27	7:00 A.M.	0,0	* 19/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 2:31 am y 22,8 mm a las 5:27 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	— A.M.	—	28	7:00 A.M.	0,0	* 20/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 3:16 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	13	— A.M.	—	29	7:00 A.M.	0,0	* 21/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 8:42 am.	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0	* 25/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 7:12 am.	5:00 P.M.	22,0	5:00 P.M.	4,3	15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	* 30/11/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 5:46 pm	5:00 P.M.	0,0	— P.M.	—	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																																																				
11	7:00 A.M.	0,2	27	7:00 A.M.	0,0	* 19/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 2:31 am y 22,8 mm a las 5:27 pm																																																																																																																																																																				
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0		12	— A.M.	—	28	7:00 A.M.	0,0	* 20/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 3:16 pm	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	13	— A.M.	—	29	7:00 A.M.	0,0	* 21/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 8:42 am.	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0	* 25/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 7:12 am.	5:00 P.M.	22,0	5:00 P.M.	4,3	15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	* 30/11/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 5:46 pm	5:00 P.M.	0,0	— P.M.	—	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																																																															
12	— A.M.	—	28	7:00 A.M.	0,0	* 20/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 3:16 pm																																																																																																																																																																				
	— P.M.	—		5:00 P.M.	0,0		13	— A.M.	—	29	7:00 A.M.	0,0	* 21/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 8:42 am.	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0	* 25/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 7:12 am.	5:00 P.M.	22,0	5:00 P.M.	4,3	15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	* 30/11/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 5:46 pm	5:00 P.M.	0,0	— P.M.	—	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																																																																										
13	— A.M.	—	29	7:00 A.M.	0,0	* 21/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 8:42 am.																																																																																																																																																																				
	— P.M.	—		5:00 P.M.	0,0		14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0	* 25/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 7:12 am.	5:00 P.M.	22,0	5:00 P.M.	4,3	15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	* 30/11/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 5:46 pm	5:00 P.M.	0,0	— P.M.	—	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																																																																																					
14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0	* 25/11/17 se registran 0,2 mm de precipitación iniciada a las 7:12 am.																																																																																																																																																																				
	5:00 P.M.	22,0		5:00 P.M.	4,3		15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	* 30/11/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 5:46 pm	5:00 P.M.	0,0	— P.M.	—	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																																																																																																
15	7:00 A.M.	0,0	31	— A.M.	—	* 30/11/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 5:46 pm																																																																																																																																																																				
	5:00 P.M.	0,0		— P.M.	—																																																																																																																																																																					
16	7:00 A.M.	0,0																																																																																																																																																																								
	5:00 P.M.	0,0																																																																																																																																																																								

* Hacer una lectura en horas de la mañana y una lectura en horas de la tarde

** 1 mm de precipitación en el pluviómetro, equivale a 1 L/m²



AT S.A.S.

VERSIÓN 0.
Octubre de 2016.
Página 1 de 1.

REGISTRO DE PRECIPITACIONES

PROYECTO, CENTRAL O INSTALACIÓN: Mango de reactores de la centralización del carbon "Cenapi" y su disposición final.

MES: Diciembre de 2017

DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	DÍA	HORA	PRECIPITACIÓN (mm)	OBSERVACIONES / DATOS COMPARATIVOS																																																																																																																																																																				
1	7:00 A.M.	0,0	17	— A.M.	—	* 1/12/17 se registran 10,9 mm de precipitación lluvias iniciadas a las 3:50 pm																																																																																																																																																																				
	5:00 P.M.	10,9		— P.M.	—		2	7:00 A.M.	0,0	18	7:00 A.M.	0,0	* 4/12/17 se registran 0,2 mm de precipitación lluvias iniciadas a las 12:38 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	3	— A.M.	—	19	7:00 A.M.	0,0	* 6/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación lluvias iniciadas a las 5:07 am	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	4	7:00 A.M.	0,2	20	7:00 A.M.	0,0	* 9/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación lluvias iniciadas a las 6:00 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	5	7:00 A.M.	0,0	21	7:00 A.M.	0,0	* 10/12/17 (Domingo) se registran 22,8 mm de precipitación lluvias iniciadas a las 3:26 pm. No se labora	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	6	7:00 A.M.	1,5	22	7:00 A.M.	0,0	* 13/12/17 se registran 0,2 mm de precipitación lluvia iniciadas a las 7:30 am	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	7	7:00 A.M.	0,0	23	7:00 A.M.	0,0	* 25/12/17 No se labora, el pluviómetro registra 0,5 mm de precipitación a las 4:48 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	8	— A.M.	—	24	— A.M.	—	* 26/12/17 se registran 2,5 mm de precipitación iniciada a las 7:59 pm	— P.M.	—	— P.M.	—	9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,0	* 29/12/17 se registran 6,8 mm de precipitación iniciada a las 4:43 pm	5:00 P.M.	1,5	5:00 P.M.	0,5	10	7:00 A.M.	0,0	26	7:00 A.M.	0,0	* 30/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 6:06 pm	5:00 P.M.	22,8	5:00 P.M.	2,5	11	7:00 A.M.	0,0	27	7:00 A.M.	0,0	* 31/12/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 3:04 pm (No se labora)	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	7:00 A.M.	0,0	28	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	13	7:00 A.M.	0,7	29	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	6,3	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	1,0	15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,3	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0	
2	7:00 A.M.	0,0	18	7:00 A.M.	0,0	* 4/12/17 se registran 0,2 mm de precipitación lluvias iniciadas a las 12:38 pm																																																																																																																																																																				
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	3	— A.M.	—	19	7:00 A.M.	0,0	* 6/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación lluvias iniciadas a las 5:07 am	— P.M.	—	5:00 P.M.	0,0	4	7:00 A.M.	0,2	20	7:00 A.M.	0,0	* 9/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación lluvias iniciadas a las 6:00 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	5	7:00 A.M.	0,0	21	7:00 A.M.	0,0	* 10/12/17 (Domingo) se registran 22,8 mm de precipitación lluvias iniciadas a las 3:26 pm. No se labora	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	6	7:00 A.M.	1,5	22	7:00 A.M.	0,0	* 13/12/17 se registran 0,2 mm de precipitación lluvia iniciadas a las 7:30 am	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	7	7:00 A.M.	0,0	23	7:00 A.M.	0,0	* 25/12/17 No se labora, el pluviómetro registra 0,5 mm de precipitación a las 4:48 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	8	— A.M.	—	24	— A.M.	—	* 26/12/17 se registran 2,5 mm de precipitación iniciada a las 7:59 pm	— P.M.	—	— P.M.	—	9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,0	* 29/12/17 se registran 6,8 mm de precipitación iniciada a las 4:43 pm	5:00 P.M.	1,5	5:00 P.M.	0,5	10	7:00 A.M.	0,0	26	7:00 A.M.	0,0	* 30/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 6:06 pm	5:00 P.M.	22,8	5:00 P.M.	2,5	11	7:00 A.M.	0,0	27	7:00 A.M.	0,0	* 31/12/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 3:04 pm (No se labora)	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	7:00 A.M.	0,0	28	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	13	7:00 A.M.	0,7	29	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	6,3	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	1,0	15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,3	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0													
3	— A.M.	—	19	7:00 A.M.	0,0		* 6/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación lluvias iniciadas a las 5:07 am																																																																																																																																																																			
	— P.M.	—		5:00 P.M.	0,0	4	7:00 A.M.	0,2	20	7:00 A.M.	0,0	* 9/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación lluvias iniciadas a las 6:00 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	5	7:00 A.M.	0,0	21	7:00 A.M.	0,0	* 10/12/17 (Domingo) se registran 22,8 mm de precipitación lluvias iniciadas a las 3:26 pm. No se labora	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	6	7:00 A.M.	1,5	22	7:00 A.M.	0,0	* 13/12/17 se registran 0,2 mm de precipitación lluvia iniciadas a las 7:30 am	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	7	7:00 A.M.	0,0	23	7:00 A.M.	0,0	* 25/12/17 No se labora, el pluviómetro registra 0,5 mm de precipitación a las 4:48 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	8	— A.M.	—	24	— A.M.	—	* 26/12/17 se registran 2,5 mm de precipitación iniciada a las 7:59 pm	— P.M.	—	— P.M.	—	9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,0	* 29/12/17 se registran 6,8 mm de precipitación iniciada a las 4:43 pm	5:00 P.M.	1,5	5:00 P.M.	0,5	10	7:00 A.M.	0,0	26	7:00 A.M.	0,0	* 30/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 6:06 pm	5:00 P.M.	22,8	5:00 P.M.	2,5	11	7:00 A.M.	0,0	27	7:00 A.M.	0,0	* 31/12/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 3:04 pm (No se labora)	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	7:00 A.M.	0,0	28	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	13	7:00 A.M.	0,7	29	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	6,3	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	1,0	15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,3	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																								
4	7:00 A.M.	0,2	20	7:00 A.M.	0,0		* 9/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación lluvias iniciadas a las 6:00 pm																																																																																																																																																																			
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5	7:00 A.M.	0,0	21	7:00 A.M.	0,0	* 10/12/17 (Domingo) se registran 22,8 mm de precipitación lluvias iniciadas a las 3:26 pm. No se labora	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	6	7:00 A.M.	1,5	22	7:00 A.M.	0,0	* 13/12/17 se registran 0,2 mm de precipitación lluvia iniciadas a las 7:30 am	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	7	7:00 A.M.	0,0	23	7:00 A.M.	0,0	* 25/12/17 No se labora, el pluviómetro registra 0,5 mm de precipitación a las 4:48 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	8	— A.M.	—	24	— A.M.	—	* 26/12/17 se registran 2,5 mm de precipitación iniciada a las 7:59 pm	— P.M.	—	— P.M.	—	9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,0	* 29/12/17 se registran 6,8 mm de precipitación iniciada a las 4:43 pm	5:00 P.M.	1,5	5:00 P.M.	0,5	10	7:00 A.M.	0,0	26	7:00 A.M.	0,0	* 30/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 6:06 pm	5:00 P.M.	22,8	5:00 P.M.	2,5	11	7:00 A.M.	0,0	27	7:00 A.M.	0,0	* 31/12/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 3:04 pm (No se labora)	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	7:00 A.M.	0,0	28	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	13	7:00 A.M.	0,7	29	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	6,3	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	1,0	15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,3	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																			
5	7:00 A.M.	0,0	21	7:00 A.M.	0,0		* 10/12/17 (Domingo) se registran 22,8 mm de precipitación lluvias iniciadas a las 3:26 pm. No se labora																																																																																																																																																																			
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	6	7:00 A.M.	1,5	22	7:00 A.M.	0,0	* 13/12/17 se registran 0,2 mm de precipitación lluvia iniciadas a las 7:30 am	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	7	7:00 A.M.	0,0	23	7:00 A.M.	0,0	* 25/12/17 No se labora, el pluviómetro registra 0,5 mm de precipitación a las 4:48 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	8	— A.M.	—	24	— A.M.	—	* 26/12/17 se registran 2,5 mm de precipitación iniciada a las 7:59 pm	— P.M.	—	— P.M.	—	9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,0	* 29/12/17 se registran 6,8 mm de precipitación iniciada a las 4:43 pm	5:00 P.M.	1,5	5:00 P.M.	0,5	10	7:00 A.M.	0,0	26	7:00 A.M.	0,0	* 30/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 6:06 pm	5:00 P.M.	22,8	5:00 P.M.	2,5	11	7:00 A.M.	0,0	27	7:00 A.M.	0,0	* 31/12/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 3:04 pm (No se labora)	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	7:00 A.M.	0,0	28	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	13	7:00 A.M.	0,7	29	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	6,3	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	1,0	15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,3	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																														
6	7:00 A.M.	1,5	22	7:00 A.M.	0,0		* 13/12/17 se registran 0,2 mm de precipitación lluvia iniciadas a las 7:30 am																																																																																																																																																																			
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	7	7:00 A.M.	0,0	23	7:00 A.M.	0,0	* 25/12/17 No se labora, el pluviómetro registra 0,5 mm de precipitación a las 4:48 pm	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	8	— A.M.	—	24	— A.M.	—	* 26/12/17 se registran 2,5 mm de precipitación iniciada a las 7:59 pm	— P.M.	—	— P.M.	—	9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,0	* 29/12/17 se registran 6,8 mm de precipitación iniciada a las 4:43 pm	5:00 P.M.	1,5	5:00 P.M.	0,5	10	7:00 A.M.	0,0	26	7:00 A.M.	0,0	* 30/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 6:06 pm	5:00 P.M.	22,8	5:00 P.M.	2,5	11	7:00 A.M.	0,0	27	7:00 A.M.	0,0	* 31/12/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 3:04 pm (No se labora)	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	7:00 A.M.	0,0	28	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	13	7:00 A.M.	0,7	29	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	6,3	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	1,0	15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,3	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																									
7	7:00 A.M.	0,0	23	7:00 A.M.	0,0		* 25/12/17 No se labora, el pluviómetro registra 0,5 mm de precipitación a las 4:48 pm																																																																																																																																																																			
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	8	— A.M.	—	24	— A.M.	—	* 26/12/17 se registran 2,5 mm de precipitación iniciada a las 7:59 pm	— P.M.	—	— P.M.	—	9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,0	* 29/12/17 se registran 6,8 mm de precipitación iniciada a las 4:43 pm	5:00 P.M.	1,5	5:00 P.M.	0,5	10	7:00 A.M.	0,0	26	7:00 A.M.	0,0	* 30/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 6:06 pm	5:00 P.M.	22,8	5:00 P.M.	2,5	11	7:00 A.M.	0,0	27	7:00 A.M.	0,0	* 31/12/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 3:04 pm (No se labora)	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	7:00 A.M.	0,0	28	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	13	7:00 A.M.	0,7	29	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	6,3	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	1,0	15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,3	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																				
8	— A.M.	—	24	— A.M.	—		* 26/12/17 se registran 2,5 mm de precipitación iniciada a las 7:59 pm																																																																																																																																																																			
	— P.M.	—		— P.M.	—	9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,0	* 29/12/17 se registran 6,8 mm de precipitación iniciada a las 4:43 pm	5:00 P.M.	1,5	5:00 P.M.	0,5	10	7:00 A.M.	0,0	26	7:00 A.M.	0,0	* 30/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 6:06 pm	5:00 P.M.	22,8	5:00 P.M.	2,5	11	7:00 A.M.	0,0	27	7:00 A.M.	0,0	* 31/12/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 3:04 pm (No se labora)	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	7:00 A.M.	0,0	28	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	13	7:00 A.M.	0,7	29	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	6,3	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	1,0	15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,3	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																															
9	7:00 A.M.	0,0	25	7:00 A.M.	0,0		* 29/12/17 se registran 6,8 mm de precipitación iniciada a las 4:43 pm																																																																																																																																																																			
	5:00 P.M.	1,5		5:00 P.M.	0,5	10	7:00 A.M.	0,0	26	7:00 A.M.	0,0	* 30/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 6:06 pm	5:00 P.M.	22,8	5:00 P.M.	2,5	11	7:00 A.M.	0,0	27	7:00 A.M.	0,0	* 31/12/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 3:04 pm (No se labora)	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	7:00 A.M.	0,0	28	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	13	7:00 A.M.	0,7	29	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	6,3	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	1,0	15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,3	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																																										
10	7:00 A.M.	0,0	26	7:00 A.M.	0,0		* 30/12/17 se registran 1,5 mm de precipitación iniciada a las 6:06 pm																																																																																																																																																																			
	5:00 P.M.	22,8		5:00 P.M.	2,5	11	7:00 A.M.	0,0	27	7:00 A.M.	0,0	* 31/12/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 3:04 pm (No se labora)	5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	12	7:00 A.M.	0,0	28	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	13	7:00 A.M.	0,7	29	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	6,3	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	1,0	15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,3	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																																																					
11	7:00 A.M.	0,0	27	7:00 A.M.	0,0		* 31/12/17 se registran 0,5 mm de precipitación iniciada a las 3:04 pm (No se labora)																																																																																																																																																																			
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	12	7:00 A.M.	0,0	28	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,0	13	7:00 A.M.	0,7	29	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	6,3	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	1,0	15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,3	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																																																																
12	7:00 A.M.	0,0	28	7:00 A.M.	0,0																																																																																																																																																																					
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	13	7:00 A.M.	0,7	29	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	6,3	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	1,0	15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,3	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																																																																											
13	7:00 A.M.	0,7	29	7:00 A.M.	0,0																																																																																																																																																																					
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	6,3	14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	1,0	15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,3	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																																																																																						
14	7:00 A.M.	0,0	30	7:00 A.M.	0,0																																																																																																																																																																					
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	1,0	15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0		5:00 P.M.	0,0	5:00 P.M.	0,3	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																																																																																																	
15	7:00 A.M.	0,0	31	7:00 A.M.	0,0																																																																																																																																																																					
	5:00 P.M.	0,0		5:00 P.M.	0,3	16	7:00 A.M.	0,0					5:00 P.M.	0,0																																																																																																																																																												
16	7:00 A.M.	0,0																																																																																																																																																																								
	5:00 P.M.	0,0																																																																																																																																																																								

* Hacer una lectura en horas de la mañana y una lectura en horas de la tarde

** 1 mm de precipitación en el pluviómetro, equivale a 1 L/m²

ANEXO C

CONCENTRACIONES DE AGENTES NEUTRALIZANTES SELECCIONADOS

Cuadro 13. Concentraciones límites de los agentes neutralizantes evaluados

CONCENTRACIONES REPORTADAS EN BIBLIOGRAFIA		
Reactivo	Concentración máxima (Artículo 1)	Concentración mínima (Artículo 2)
Hidróxido de sodio (NaOH)	Pureza del 98% (52,85M)*	2,5M*
Cal (CaOH ₂ , CaO)	Pureza del 90% (23,678M)	Pureza del 62,36% (16,406M)
Bicarbonato de sodio (NaHCO ₃)	(0,1M)	(0,004M - 0,009M)*

Fuente: elaboración propia

Cuadro 14. Artículos de referencia

Reactivo	Artículo 1	Artículo 2
Hidróxido de sodio	“Tratamiento de aguas ácidas provenientes del PAD de lixiviación con NaOH-almidon; en cía minera sipan sac, durante cierre ambiental. Distrito de Ilapa, Cajamarca, Perú, 2011-2012.”	“Comparative study of dewatering characteristics of metal precipitates generated during treatment synthetic polymetallic and AMD solutions”
Cal	“Integrated acid mine drainage treatment using Mg(OH) ₂ or Mg(HCO ₃) ₂ and Ca(OH) ₂ : Implications for separate removal of metals and sulphate”	“Estudio para el tratamiento de las aguas ácidas por neutralización-precipitación en interior de la mina santa fé, Bolivia”
Bicarbonato de sodio	“Treatment of high-manganese mine water with limestone and sodium carbonate”	“Arsenic treatment and power generation with a dual-chambered fuel cell with anionic and cationic membranes using NaHCO ₃ anolyte and HCl or NaCl catholyte”

Fuente: elaboración propia

* Las concentraciones límites analizadas durante el proyecto fueron de 18,22M y 2,5M para el hidróxido de sodio, esto debido a que no se contaba con hidróxido de sodio al 98%, en cambio, se utilizó hidróxido de sodio al 48%.

* Para el bicarbonato de sodio en el proyecto se evaluaron como concentraciones límite 1M (punto de solubilidad del bicarbonato en agua, es decir, más allá de esta concentración se requiere agitación y aumenta los costos del proceso) y 0,1M como concentración mínima.

1. Cálculo de las concentraciones de neutralizantes

Las concentraciones en molaridad se calcularon para algunos de los agentes neutralizantes de la siguiente manera:

Partiendo del porcentaje de pureza:

Ecuación 15. Cálculo de pureza para un reactivo

$$\% \text{pureza} = \frac{\text{masa soluto}}{\text{masa de solución}} \times 100$$

Ejemplo:

Que concentración en molaridad corresponde al NaOH (98%)?

$$98\% = \frac{98g \text{ naoh}}{100g \text{ solución}} \times 100$$

Conociendo esta relación:

$$\frac{98g \text{ naoh}}{100g \text{ solución}}$$

Se procede a calcular la molaridad en moles/L con los respectivos factores de conversión, para este caso donde el componente es sólido y tan concentrado se toma la densidad del soluto:

$$\frac{98g \text{ naoh}}{100g \text{ solución}} \times \frac{2,13g}{cm^3} \times \frac{1molNaOh}{40g} \times \frac{1000cm^3}{1L} = 52,85M$$

ANEXO D

DATOS EXPERIMENTALES DE NEUTRALIZACIÓN

- A continuación, se muestran los datos para cada agente neutralizante, en donde se muestra el volumen de dosificación para cada valor de pH
- Los ensayos de neutralización se realizaron en los mismos días de la caracterización comprendida entre octubre a diciembre del año 2017
- Para cada agente neutralizante corresponde un total de 5 tablas, una por cada concentración determinada por el método de rangos medios
- Todos los volúmenes de dosificación corresponden a la dosis necesaria para alcanzar un pH de 7

HIDROXIDO DE SODIO

Tabla 14. HIDROXIDO DE SODIO (18,22M):

Caracterización		Volumen de dosificación(ml)			
Día	pH muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
1	2,63	2,05	2,04	2,06	2,05
2	2,63	2,04	2,04	2,04	2,04
3	2,65	2,01	2,01	2,03	2,02
4	2,1	2,8	2,85	2,90	2,85
5	2,33	2,49	2,48	2,47	2,48
6	2,42	2,33	2,35	2,34	2,34
7	2,42	2,34	2,32	2,34	2,33
8	2,61	2,07	2,07	2,07	2,07
9	2,7	1,94	1,92	1,95	1,94
10	2,64	2,02	2,01	2,03	2,02
11	2,56	2,15	2,13	2,14	2,14
12	2,54	2,16	2,19	2,17	2,17

Tabla 14. (Continuación)

13	2,31	2,5	2,50	2,40	2,47
14	2,35	2,48	2,44	2,45	2,46
15	2,34	2,45	2,45	2,48	2,46
16	2,33	2,47	2,46	2,47	2,47
17	2,24	2,70	2,50	2,6	2,60
18	2,31	2,49	2,5	2,55	2,51
19	2,35	2,48	2,44	2,45	2,46
20	2,42	2,35	2,36	2,34	2,35
21	2,46	2,27	2,29	2,28	2,28
22	2,24	2,6	2,60	2,65	2,62
23	2,28	2,54	2,55	2,55	2,55
24	2,1	2,80	2,82	2,8	2,81
25	2,07	2,85	2,92	2,84	2,87
26	2,11	2,79	2,78	2,78	2,78
27	2,21	2,65	2,64	2,60	2,63
28	2,19	2,67	2,67	2,66	2,67
29	2,21	2,60	2,64	2,65	2,63
30	2,1	2,80	2,80	2,8	2,80
31	2,12	2,77	2,74	2,79	2,77
32	2,21	2,64	2,64	2,67	2,65
33	2,4	2,37	2,36	2,38	2,37
34	2,24	2,60	2,55	2,6	2,58
35	2,8	1,80	1,8	1,81	1,80
36	2,14	2,75	2,74	2,74	2,74
37	2,08	2,83	2,82	2,80	2,82
38	2,21	2,64	2,64	2,66	2,65
39	2,24	2,58	2,6	2,60	2,59
40	2,24	2,61	2,60	2,6	2,60
41	2,3	2,53	2,51	2,51	2,52
42	2,17	2,7	2,70	2,69	2,70
43	2,24	2,6	2,65	2,60	2,62
44	2,31	2,5	2,51	2,55	2,52
45	2,14	2,75	2,74	2,74	2,74
46	2,18	2,68	2,68	2,69	2,68
47	2,5	2,23	2,22	2,22	2,22
48	2,24	2,60	2,6	2,62	2,61
49	2,31	2,51	2,50	2,5	2,50
50	2,21	2,64	2,64	2,64	2,64

Tabla 15. HIDROXIDO DE SODIO (15,63M).

Día	Caracterización pH muestra	Volumen de dosificación(ml)			Promedio
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
1	2,63	2,36	2,35	2,37	2,36
2	2,63	2,35	2,35	2,35	2,35
3	2,65	2,31	2,31	2,33	2,32
4	2,1	3,22	3,28	3,34	3,28
5	2,33	2,86	2,85	2,84	2,85
6	2,42	2,68	2,70	2,69	2,69
7	2,42	2,69	2,67	2,69	2,68
8	2,61	2,38	2,38	2,38	2,38
9	2,7	2,23	2,21	2,24	2,23
10	2,64	2,32	2,31	2,33	2,32
11	2,56	2,47	2,45	2,46	2,46
12	2,54	2,48	2,52	2,50	2,50
13	2,31	2,88	2,88	2,76	2,84
14	2,35	2,85	2,81	2,82	2,83
15	2,34	2,79	2,82	2,85	2,82
16	2,33	2,82	2,83	2,84	2,83
17	2,24	3,08	2,88	2,99	2,98
18	2,31	2,84	2,88	2,93	2,88
19	2,35	2,83	2,81	2,82	2,82
20	2,42	2,68	2,71	2,69	2,69
21	2,46	2,59	2,63	2,62	2,61
22	2,24	2,96	2,99	3,05	3,00
23	2,28	2,90	2,93	2,93	2,92
24	2,1	3,19	3,24	3,22	3,22
25	2,07	3,28	3,36	3,27	3,30
26	2,11	3,21	3,20	3,20	3,20
27	2,21	3,05	3,04	2,99	3,02
28	2,19	3,07	3,07	3,06	3,07
29	2,21	2,99	3,04	3,05	3,02
30	2,1	3,22	3,22	3,22	3,22

Tabla 15. (Continuación)

31	2,12	3,19	3,15	3,21	3,18
32	2,21	3,04	3,04	3,07	3,05
33	2,4	2,73	2,71	2,74	2,73
34	2,24	2,99	2,93	2,99	2,97
35	2,8	2,07	2,07	2,08	2,07
36	2,14	3,16	3,15	3,15	3,15
37	2,08	3,20	3,24	3,22	3,22
38	2,21	2,98	3,04	3,06	3,03
39	2,24	2,92	2,99	2,99	2,97
40	2,24	2,95	2,99	2,99	2,98
41	2,3	2,86	2,89	2,89	2,88
42	2,17	3,05	3,11	3,09	3,08
43	2,24	2,94	3,05	2,99	2,99
44	2,31	2,83	2,89	2,93	2,88
45	2,14	3,16	3,15	3,15	3,15
46	2,18	3,08	3,08	3,09	3,09
47	2,5	2,56	2,55	2,55	2,56
48	2,24	2,99	2,99	3,01	3,00
49	2,31	2,89	2,88	2,88	2,88
50	2,21	3,04	3,04	3,04	3,04

Tabla 16. HIDROXIDO DE SODIO (13,04M).

Día	Caracterización pH muestra	Volumen de dosificación(ml)			Promedio
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
1	2,63	2,66	2,65	2,67	2,66
2	2,63	2,65	2,65	2,65	2,65
3	2,65	2,61	2,61	2,63	2,62
4	2,1	3,63	3,70	3,76	3,70
5	2,33	3,24	3,22	3,20	3,22
6	2,42	3,03	3,05	3,03	3,04
7	2,42	3,04	3,01	3,03	3,03
8	2,61	2,69	2,68	2,68	2,69
9	2,7	2,52	2,49	2,53	2,51
10	2,64	2,62	2,61	2,63	2,62

Tabla 16. (Continuación)

11	2,56	2,79	2,76	2,78	2,78
12	2,54	2,80	2,84	2,81	2,82
13	2,31	3,24	3,24	3,11	3,20
14	2,35	3,22	3,16	3,18	3,19
15	2,34	3,18	3,18	3,22	3,19
16	2,33	3,20	3,19	3,20	3,20
17	2,24	3,50	3,24	3,37	3,37
18	2,31	3,23	3,24	3,31	3,26
19	2,35	3,22	3,16	3,18	3,19
20	2,42	3,05	3,06	3,03	3,05
21	2,46	2,94	2,97	2,96	2,96
22	2,24	3,37	3,37	3,44	3,39
23	2,28	3,30	3,31	3,31	3,31
24	2,1	3,64	3,66	3,63	3,64
25	2,07	3,73	3,79	3,68	3,73
26	2,11	3,65	3,61	3,61	3,62
27	2,21	3,47	3,42	3,37	3,42
28	2,19	3,50	3,46	3,45	3,47
29	2,21	3,41	3,42	3,44	3,42
30	2,1	3,67	3,63	3,63	3,64
31	2,12	3,63	3,55	3,62	3,60
32	2,21	3,46	3,42	3,46	3,45
33	2,4	3,10	3,06	3,09	3,08
34	2,24	3,41	3,31	3,37	3,36
35	2,8	2,36	2,33	2,35	2,35
36	2,14	3,60	3,55	3,55	3,57
37	2,08	3,67	3,66	3,63	3,65
38	2,21	3,42	3,42	3,45	3,43
39	2,24	3,35	3,37	3,37	3,36
40	2,24	3,39	3,37	3,37	3,38
41	2,3	3,28	3,26	3,26	3,26
42	2,17	3,50	3,50	3,49	3,50
43	2,24	3,37	3,44	3,37	3,39
44	2,31	3,24	3,26	3,31	3,27
45	2,14	3,57	3,55	3,55	3,56

Tabla 16. (Continuación)

46	2,18	3,48	3,48	3,49	3,48
47	2,5	2,92	2,88	2,88	2,89
48	2,24	3,41	3,37	3,40	3,39
49	2,31	3,29	3,24	3,24	3,26
50	2,21	3,46	3,42	3,42	3,44

Tabla 17. HIDROXIDO DE SODIO (7,86 M).

Día	Caracterización pH muestra	Volumen de dosificación(ml)			Promedio
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
1	2,63	3,27	3,25	3,28	3,27
2	2,63	3,25	3,25	3,25	3,25
3	2,65	3,20	3,20	3,23	3,21
4	2,1	4,46	4,54	4,62	4,54
5	2,33	3,97	3,95	3,94	3,95
6	2,42	3,71	3,74	3,73	3,73
7	2,42	3,73	3,70	3,73	3,72
8	2,61	3,30	3,30	3,30	3,30
9	2,7	3,09	3,06	3,11	3,09
10	2,64	3,22	3,20	3,23	3,22
11	2,56	3,43	3,39	3,41	3,41
12	2,54	3,44	3,49	3,46	3,46
13	2,31	3,98	3,98	3,82	3,93
14	2,35	3,95	3,89	3,90	3,91
15	2,34	3,90	3,90	3,95	3,92
16	2,33	3,94	3,92	3,94	3,93
17	2,24	4,30	3,98	4,14	4,14
18	2,31	3,97	3,98	4,06	4,00
19	2,35	3,95	3,89	3,90	3,91
20	2,42	3,74	3,76	3,73	3,74
21	2,46	3,62	3,65	3,63	3,63
22	2,24	4,14	4,14	4,22	4,17
23	2,28	4,05	4,06	4,06	4,06

Tabla 17. (Continuación)

24	2,1	4,46	4,49	4,46	4,47
25	2,07	4,54	4,65	4,52	4,57
26	2,11	4,45	4,43	4,43	4,43
27	2,21	4,22	4,21	4,14	4,19
28	2,19	4,25	4,25	4,24	4,25
29	2,21	4,14	4,21	4,22	4,19
30	2,1	4,46	4,46	4,46	4,46
31	2,12	4,41	4,37	4,45	4,41
32	2,21	4,21	4,21	4,25	4,22
33	2,4	3,78	3,76	3,79	3,78
34	2,24	4,14	4,06	4,14	4,12
35	2,8	2,87	2,87	2,88	2,87
36	2,14	4,38	4,37	4,37	4,37
37	2,08	4,51	4,49	4,46	4,49
38	2,21	4,21	4,21	4,24	4,22
39	2,24	4,11	4,14	4,14	4,13
40	2,24	4,16	4,14	4,14	4,15
41	2,3	4,03	4,00	4,00	4,01
42	2,17	4,30	4,30	4,29	4,30
43	2,24	4,14	4,22	4,14	4,17
44	2,31	3,98	4,00	4,06	4,01
45	2,14	4,38	4,37	4,37	4,37
46	2,18	4,27	4,27	4,29	4,28
47	2,5	3,55	3,54	3,54	3,54
48	2,24	4,14	4,14	4,17	4,15
49	2,31	4,00	3,98	3,98	3,99
50	2,21	4,21	4,21	4,21	4,21

Tabla 18. HIDROXIDO DE SODIO (2,5M)

Día	Caracterización pH muestra	Volumen de dosificación(ml)			Promedio
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
1	2,63	3,92	3,90	3,93	3,92
2	2,63	3,90	3,90	3,90	3,90
3	2,65	3,84	3,84	3,88	3,85
4	2,1	5,35	5,44	5,54	5,44

Tabla 18. (Continuación)

5	2,33	4,76	4,74	4,72	4,74
6	2,42	4,45	4,49	4,47	4,47
7	2,42	4,47	4,43	4,47	4,46
8	2,61	3,95	3,95	3,95	3,95
9	2,7	3,71	3,67	3,72	3,70
10	2,64	3,86	3,84	3,88	3,86
11	2,56	4,11	4,07	4,09	4,09
12	2,54	4,13	4,18	4,14	4,15
13	2,31	4,78	4,78	4,58	4,71
14	2,35	4,74	4,66	4,68	4,69
15	2,34	4,68	4,68	4,74	4,70
16	2,33	4,72	4,70	4,72	4,71
17	2,24	5,16	4,78	4,97	4,97
18	2,31	4,76	4,78	4,87	4,80
19	2,35	4,74	4,66	4,68	4,69
20	2,42	4,49	4,51	4,47	4,49
21	2,46	4,34	4,37	4,35	4,35
22	2,24	4,97	4,97	5,06	5,00
23	2,28	4,85	4,87	4,87	4,86
24	2,1	5,35	5,39	5,35	5,36
25	2,07	5,44	5,58	5,42	5,48
26	2,11	5,33	5,31	5,31	5,32
27	2,21	5,06	5,04	4,97	5,02
28	2,19	5,10	5,10	5,08	5,09
29	2,21	4,97	5,04	5,06	5,02
30	2,1	5,35	5,35	5,35	5,35
31	2,12	5,29	5,23	5,33	5,28
32	2,21	5,04	5,04	5,10	5,06
33	2,4	4,53	4,51	4,55	4,53
34	2,24	4,97	4,87	4,97	4,93
35	2,8	3,44	3,44	3,46	3,44
36	2,14	5,25	5,23	5,23	5,24
37	2,08	5,41	5,39	5,35	5,38
38	2,21	5,04	5,04	5,08	5,06
39	2,24	4,93	4,97	4,97	4,95
40	2,24	4,99	4,97	4,97	4,97

Tabla 18. (Continuación)

41	2,3	4,83	4,79	4,79	4,81
42	2,17	5,16	5,16	5,14	5,15
43	2,24	4,97	5,06	4,97	5,00
44	2,31	4,78	4,79	4,87	4,81
45	2,14	5,25	5,23	5,23	5,24
46	2,18	5,12	5,12	5,14	5,13
47	2,5	4,26	4,24	4,24	4,25
48	2,24	4,97	4,97	5,00	4,98
49	2,31	4,79	4,78	4,78	4,78
50	2,21	5,04	5,04	5,04	5,04

BICARBONATO DE SODIO**Tabla 19.** BICARBONATO DE SODIO (1M).

Día	Caracterización pH muestra	Volumen de dosificación(ml)			Promedio
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
1	2,63	50,19	48,68	48,18	49,02
2	2,63	50,23	48,72	48,22	49,05
3	2,65	48,23	46,78	46,30	47,10
4	2,1	100,08	97,07	96,07	97,74
5	2,33	77,74	75,40	74,63	75,92
6	2,42	69,06	66,98	66,29	67,45
7	2,42	69,06	66,98	66,29	67,45
8	2,61	52,08	50,51	49,99	50,86
9	2,7	43,47	43,43	41,73	42,88
10	2,64	50,57	50,52	48,54	49,87
11	2,56	56,75	56,70	54,48	55,98
12	2,54	57,69	58,51	56,22	57,47
13	2,31	78,80	79,92	76,80	78,51
14	2,35	74,34	75,40	72,45	74,06
15	2,34	75,45	76,53	73,54	75,17

Tabla 19. (Continuación)

16	2,33	76,57	77,66	74,63	76,28
17	2,24	85,86	87,08	83,68	85,54
18	2,31	78,80	79,92	76,80	78,51
19	2,35	76,98	74,67	73,90	75,18
20	2,42	67,44	67,02	66,33	66,93
21	2,46	63,79	63,40	62,74	63,31
22	2,24	84,71	84,19	83,32	84,07
23	2,28	80,29	79,80	78,97	79,69
24	2,1	100,00	97,00	96,00	97,67
25	2,07	122,64	118,96	117,74	119,78
26	2,11	99,02	96,05	95,06	96,71
27	2,21	88,68	86,02	85,13	86,61
28	2,19	92,08	89,31	88,39	89,93
29	2,21	88,68	86,02	85,13	86,61
30	2,1	100,00	97,00	96,00	97,67
31	2,12	99,62	96,63	95,64	97,30
32	2,21	89,60	86,91	85,13	87,21
33	2,4	70,94	69,52	69,52	70,00
34	2,24	87,17	85,43	85,43	86,01
35	2,8	33,96	33,28	33,28	33,51
36	2,14	96,00	94,08	94,08	94,72
37	2,08	115,09	111,64	112,79	113,18
38	2,21	88,30	85,65	86,54	86,83
39	2,24	86,79	84,19	85,06	85,35
40	2,24	86,94	84,34	85,20	85,49
41	2,3	79,70	78,33	79,14	79,06
42	2,17	91,62	90,05	90,97	90,88
43	2,24	85,66	84,19	85,06	84,97
44	2,31	80,19	77,78	76,98	78,32
45	2,14	95,77	90,98	91,94	92,90
46	2,18	91,77	89,02	88,10	89,63
47	2,5	60,75	58,93	59,96	59,88
48	2,24	86,79	84,19	85,66	85,55
49	2,31	80,00	77,60	78,96	78,85
50	2,21	88,68	86,02	87,53	87,41

Tabla 20. BICARBONATO DE SODIO (0,7M).

Caracterización		Volumen de dosificación(ml)			Promedio
Día	pH muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
1	2,63	64,24	64,26	65,04	64,52
2	2,63	64,29	64,31	65,09	64,56
3	2,65	61,73	61,75	62,50	61,99
4	2,10	128,10	128,14	126,82	127,68
5	2,33	101,06	99,53	98,51	99,70
6	2,42	89,77	88,42	87,51	88,57
7	2,42	89,77	86,41	87,51	87,90
8	2,61	67,70	65,16	65,99	66,28
9	2,70	56,51	56,02	55,09	55,87
10	2,64	65,74	65,16	64,08	64,99
11	2,56	73,78	73,14	71,92	72,95
12	2,54	74,99	75,47	74,21	74,89
13	2,31	102,44	103,10	101,38	102,30
14	2,35	96,64	97,26	95,64	96,51
15	2,34	98,09	98,72	97,07	97,96
16	2,33	99,54	100,96	97,01	99,17
17	2,24	111,62	112,34	110,46	111,47
18	2,31	102,44	103,10	101,38	102,30
19	2,35	100,00	100,00	100,00	100,00
20	2,42	87,67	86,46	87,56	87,23
21	2,46	82,93	81,78	82,82	82,51
22	2,24	109,28	108,60	106,65	108,18
23	2,28	103,57	102,94	101,09	102,53
24	2,10	129,00	125,13	122,88	125,67
25	2,07	158,21	153,46	150,70	154,12
26	2,11	127,73	123,90	121,67	124,44
27	2,21	114,40	110,96	108,97	111,44
28	2,19	118,78	117,00	113,14	116,31
29	2,21	114,40	112,68	108,97	112,02
30	2,10	129,00	127,07	122,88	126,32
31	2,12	128,51	126,59	122,42	125,84
32	2,21	115,58	113,85	108,97	112,80

Tabla 20. (Continuación)

33	2,40	91,52	91,08	88,99	90,53
34	2,24	113,32	111,91	111,05	112,09
35	2,80	44,15	43,60	43,27	43,67
36	2,14	124,80	123,24	122,30	123,45
37	2,08	149,62	146,25	146,63	147,50
38	2,21	114,79	112,21	112,50	113,16
39	2,24	112,83	110,29	110,57	111,23
40	2,24	113,03	110,48	110,77	111,42
41	2,30	103,62	102,62	102,88	103,04
42	2,17	119,11	117,96	118,27	118,45
43	2,24	111,36	110,29	110,57	110,74
44	2,31	101,84	101,90	100,08	101,27
45	2,14	121,63	119,19	119,53	120,12
46	2,18	116,55	116,62	112,77	115,31
47	2,50	77,16	77,20	77,95	77,44
48	2,24	110,23	110,29	111,36	110,63
49	2,31	101,60	101,66	102,65	101,97
50	2,21	112,62	112,68	113,78	113,03

Tabla 21. BICARBONATO DE SODIO (0,5M).

Día	Caracterización pH muestra	Volumen de dosificación(ml)			Promedio
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
1	2,63	75,28	73,02	72,27	73,53
2	2,63	75,34	73,57	72,33	73,74
3	2,65	72,34	70,64	70,83	71,27
4	2,10	150,11	146,58	146,99	147,89
5	2,33	116,60	113,86	114,18	114,88
6	2,42	102,89	101,15	101,43	101,82
7	2,42	102,89	101,15	101,43	101,82
8	2,61	77,59	76,27	76,49	76,79
9	2,70	64,77	65,58	63,85	64,73
10	2,64	75,34	76,28	74,27	75,30

Tabla 21. (Continuación)

11	2,56	84,56	85,61	83,36	84,51
12	2,54	85,95	88,35	86,02	86,77
13	2,31	117,41	120,68	117,50	118,53
14	2,35	110,77	113,85	110,85	111,82
15	2,34	112,43	115,56	112,52	113,50
16	2,33	114,09	117,26	114,18	115,18
17	2,24	127,93	131,76	128,04	129,24
18	2,31	117,41	120,92	117,50	118,61
19	2,35	114,70	112,98	112,33	113,34
20	2,42	100,48	101,40	100,82	100,90
21	2,46	96,45	95,92	95,37	95,91
22	2,24	128,08	127,38	126,65	127,37
23	2,28	121,40	120,73	120,04	120,72
24	2,10	151,20	146,76	145,92	147,96
25	2,07	185,43	179,99	178,96	181,46
26	2,11	149,72	145,32	144,49	146,51
27	2,21	133,02	131,61	129,40	131,34
28	2,19	138,11	136,65	134,36	136,37
29	2,21	133,02	131,61	129,40	131,34
30	2,10	150,00	148,41	148,80	149,07
31	2,12	149,43	147,85	148,24	148,51
32	2,21	134,40	132,97	131,95	133,11
33	2,40	106,42	106,37	107,76	106,85
34	2,24	130,75	130,70	132,41	131,29
35	2,80	50,94	50,92	51,59	51,15
36	2,14	144,00	143,94	145,82	144,59
37	2,08	172,64	170,81	174,83	172,76
38	2,21	132,45	131,05	134,13	132,54
39	2,24	130,19	133,02	131,84	131,68
40	2,24	130,42	133,25	132,07	131,91
41	2,30	119,56	123,76	122,67	122,00
42	2,17	137,44	142,27	141,01	140,24
43	2,24	128,50	133,02	131,84	131,12
44	2,31	120,28	122,90	119,32	120,83
45	2,14	143,66	143,76	142,51	143,31

Tabla 21. (Continuación)

46	2,18	137,66	140,65	136,56	138,29
47	2,50	91,13	93,11	92,95	92,40
48	2,24	130,19	133,02	132,78	132,00
49	2,31	120,00	122,61	122,39	121,67
50	2,21	133,02	135,91	135,67	134,86

Tabla 22. BICARBONATO DE SODIO (0,3M).

Caracterización Día	pH muestra	Volumen de dosificación(ml)			Promedio
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
1	2,63	90,34	87,63	86,73	88,23
2	2,63	90,41	87,70	86,79	88,30
3	2,65	86,81	84,20	83,34	84,78
4	2,10	180,14	174,73	172,93	175,93
5	2,33	139,92	135,73	136,57	137,41
6	2,42	124,30	120,57	121,32	122,06
7	2,42	124,30	120,57	121,32	122,06
8	2,61	93,74	90,92	91,49	92,05
9	2,70	78,25	78,17	76,37	77,60
10	2,64	91,02	90,93	88,83	90,26
11	2,56	102,16	102,06	99,71	101,31
12	2,54	103,84	105,31	102,89	104,01
13	2,31	141,84	143,86	140,54	142,08
14	2,35	133,81	135,71	132,59	134,04
15	2,34	135,82	137,75	134,58	136,05
16	2,33	137,83	139,78	136,57	138,06
17	2,24	154,55	156,75	153,14	154,81
18	2,31	141,84	143,86	140,54	142,08
19	2,35	138,57	134,41	135,24	136,07
20	2,42	121,38	120,64	121,38	121,14
21	2,46	114,82	114,12	114,82	114,59
22	2,24	152,48	151,54	152,48	152,16
23	2,28	144,52	143,63	144,52	144,23
24	2,10	180,00	174,60	175,68	176,76
25	2,07	220,75	214,13	211,92	215,60
26	2,11	178,23	172,89	171,10	174,08

Tabla 22. (Continuación)

27	2,21	159,62	154,83	153,24	155,90
28	2,19	165,74	160,76	159,11	161,87
29	2,21	159,62	154,83	153,24	155,90
30	2,10	180,00	174,60	172,80	175,80
31	2,12	179,32	173,94	172,15	175,14
32	2,21	161,28	156,43	153,24	156,98
33	2,40	127,70	125,14	125,14	126,00
34	2,24	156,91	153,77	153,77	154,81
35	2,80	61,13	59,91	59,91	60,32
36	2,14	172,80	169,34	169,34	170,50
37	2,08	207,17	200,95	209,79	205,97
38	2,21	158,94	154,18	160,96	158,03
39	2,24	156,23	151,54	158,21	155,32
40	2,24	156,50	151,80	158,48	155,59
41	2,30	143,47	143,35	147,20	144,67
42	2,17	164,92	164,78	169,21	166,31
43	2,24	154,20	154,07	158,21	155,49
44	2,31	144,34	142,34	143,18	143,29
45	2,14	172,39	166,50	171,01	169,97
46	2,18	165,19	162,91	163,87	163,99
47	2,50	109,36	107,85	111,53	109,58
48	2,24	156,23	154,07	159,34	156,54
49	2,31	144,00	142,01	146,87	144,29
50	2,21	159,62	157,41	162,80	159,95

Tabla 23. BICARBONATO DE SODIO (0,1M).

Caracterización Día	pH muestra	Volumen de dosificación(ml)			Promedio
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
1	2,63	95,36	95,42	95,40	95,39
2	2,63	95,43	95,49	95,47	95,46
3	2,65	91,63	91,69	91,67	91,66
4	2,10	190,14	190,26	190,22	190,21
5	2,33	147,70	147,79	147,76	147,75
6	2,42	131,21	131,29	131,26	131,25
7	2,42	131,21	131,29	131,26	131,25

Tabla 23. (Continuación)

8	2,61	98,94	99,01	98,99	98,98
9	2,70	82,60	85,12	82,63	83,45
10	2,64	96,08	99,01	96,12	97,07
11	2,56	107,83	111,13	107,88	108,95
12	2,54	109,61	114,67	111,32	111,87
13	2,31	149,72	156,64	152,06	152,81
14	2,35	141,25	147,78	143,46	144,16
15	2,34	143,36	149,99	145,61	146,32
16	2,33	145,48	152,21	147,76	148,48
17	2,24	163,14	170,68	165,69	166,50
18	2,31	149,72	156,64	152,06	152,81
19	2,35	146,26	146,36	146,33	146,32
20	2,42	128,13	131,36	131,33	130,28
21	2,46	121,20	124,26	124,23	123,23
22	2,24	160,95	165,01	164,98	163,64
23	2,28	152,55	156,40	156,37	155,11
24	2,10	190,00	190,12	190,08	190,07
25	2,07	233,02	233,17	233,12	233,10
26	2,11	188,14	188,25	188,22	188,20
27	2,21	168,49	168,60	168,56	168,55
28	2,19	174,94	175,05	175,02	175,00
29	2,21	168,49	168,60	168,56	168,55
30	2,10	190,00	190,12	190,08	190,07
31	2,12	189,28	189,40	189,36	189,35
32	2,21	170,24	170,34	168,56	169,71
33	2,40	134,79	136,27	137,66	136,24
34	2,24	165,62	167,44	169,14	167,40
35	2,80	64,53	65,23	65,90	65,22
36	2,14	182,40	184,40	186,28	184,36
37	2,08	218,68	218,82	223,33	220,28
38	2,21	167,77	167,88	171,34	169,00
39	2,24	164,91	165,01	168,41	166,11
40	2,24	165,19	165,30	168,70	166,40
41	2,30	151,44	153,53	156,70	153,89
42	2,17	174,08	176,49	180,13	176,90
43	2,24	162,76	165,01	168,41	165,39

Tabla 23. (Continuación)

44	2,31	152,36	152,45	152,42	152,41
45	2,14	181,97	178,33	182,05	180,78
46	2,18	174,37	174,48	174,44	174,43
47	2,50	115,43	115,51	118,73	116,56
48	2,24	164,91	165,01	169,62	166,51
49	2,31	152,00	152,10	156,34	153,48
50	2,21	168,49	168,60	173,30	170,13

HIDROXIDO DE CALCIO

Tabla 24. HIDROXIDO DE CALCIO (23,67M).

Día	Caracterización		Volumen de dosificación(ml)			
	pH muestra		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
1	2,63		10,04	9,94	10,04	10,00
2	2,63		10,04	10,05	10,03	10,04
3	2,65		9,65	10,64	11,10	10,46
4	2,1		20,02	19,98	20,01	20,00
5	2,33		15,55	15,52	15,55	15,54
6	2,42		13,81	13,78	13,81	13,80
7	2,42		13,81	13,78	13,81	13,80
8	2,61		10,42	10,39	10,41	10,41
9	2,7		8,69	8,68	8,69	8,69
10	2,64		10,11	10,09	10,11	10,11
11	2,56		11,35	11,33	11,35	11,34
12	2,54		11,71	11,69	11,71	11,71
13	2,31		16,00	15,97	16,00	15,99
14	2,35		15,09	15,06	15,09	15,08
15	2,34		15,32	15,29	15,32	15,31
16	2,33		15,55	15,52	15,55	15,54
17	2,24		17,43	17,40	17,43	17,42
18	2,31		16,00	15,97	16,00	15,99

Tabla 24. (Continuación)

19	2,35	15,40	15,37	15,39	15,39
20	2,42	13,82	13,79	13,82	13,81
21	2,46	13,07	13,05	13,07	13,06
22	2,24	17,36	17,32	17,36	17,35
23	2,28	16,45	16,42	16,45	16,44
24	2,1	20,00	19,96	20,00	19,99
25	2,07	24,53	24,48	24,53	24,51
26	2,11	19,80	19,76	19,80	19,79
27	2,21	17,74	17,70	17,73	17,72
28	2,19	18,42	18,38	18,41	18,40
29	2,21	17,74	17,70	17,73	17,72
30	2,1	20,00	19,96	20,00	19,99
31	2,12	19,92	19,88	19,92	19,91
32	2,21	17,74	17,70	17,73	17,72
33	2,4	14,19	14,16	14,19	14,18
34	2,24	17,43	17,40	17,43	17,42
35	2,8	6,79	6,78	6,79	6,79
36	2,14	19,20	19,16	19,20	19,19
37	2,08	23,02	22,97	23,02	23,00
38	2,21	17,66	17,63	17,66	17,65
39	2,24	17,36	17,32	17,36	17,35
40	2,24	17,39	17,35	17,39	17,38
41	2,3	16,15	16,12	16,15	16,14
42	2,17	18,57	18,53	18,56	18,55
43	2,24	17,36	17,32	17,36	17,35
44	2,31	16,04	16,01	16,04	16,03
45	2,14	19,15	19,12	19,15	19,14
46	2,18	18,35	18,32	18,35	18,34
47	2,5	12,15	12,13	12,15	12,14
48	2,24	17,36	17,32	17,36	17,35
49	2,31	16,00	15,97	16,00	15,99
50	2,21	17,74	17,70	17,73	17,72

Tabla 25. HIDROXIDO DE CALCIO (21,85M).

Caracterización		Volumen de dosificación(ml)			
Día	pH muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
1	2,63	12,05	12,15	12,06	12,08
2	2,63	12,05	12,15	12,06	12,09
3	2,65	11,67	11,59	11,58	11,62
4	2,1	24,22	24,06	24,04	24,10
5	2,33	18,81	18,69	18,67	18,72
6	2,42	16,71	16,60	16,59	16,63
7	2,42	16,71	16,60	16,71	16,67
8	2,61	12,52	12,52	12,60	12,55
9	2,7	10,45	10,45	10,52	10,47
10	2,64	12,16	12,16	12,24	12,18
11	2,56	13,64	13,64	13,73	13,67
12	2,54	14,08	14,08	14,17	14,11
13	2,31	19,20	19,23	19,36	19,26
14	2,35	18,11	18,14	18,26	18,17
15	2,34	18,38	18,42	18,54	18,45
16	2,33	18,66	18,81	18,81	18,76
17	2,24	20,92	21,10	21,10	21,04
18	2,31	19,20	19,36	19,20	19,25
19	2,35	18,48	18,63	18,48	18,53
20	2,42	16,58	16,72	16,58	16,63
21	2,46	15,69	15,82	15,69	15,73
22	2,24	20,83	21,00	20,83	20,89
23	2,28	19,74	19,91	19,74	19,80
24	2,1	24,00	24,20	24,00	24,07
25	2,07	29,43	29,68	29,43	29,52
26	2,11	23,76	23,96	23,76	23,83
27	2,21	21,28	21,46	21,28	21,34
28	2,19	22,10	22,28	22,10	22,16
29	2,21	21,28	21,46	21,28	21,34
30	2,1	24,00	24,20	24,00	24,07

Tabla 25. (Continuación)

31	2,12	23,91	24,11	23,91	23,98
32	2,21	21,28	21,46	21,28	21,34
33	2,4	17,03	17,17	17,03	17,07
34	2,24	20,94	21,10	20,92	20,98
35	2,8	8,16	8,22	8,15	8,18
36	2,14	23,06	23,23	23,04	23,11
37	2,08	27,65	27,85	27,62	27,71
38	2,21	21,21	21,37	21,19	21,26
39	2,24	20,85	21,00	20,83	20,89
40	2,24	20,88	21,04	20,87	20,93
41	2,3	19,40	19,54	19,38	19,44
42	2,17	22,30	22,46	22,28	22,35
43	2,24	20,85	21,00	20,83	20,89
44	2,31	19,26	19,41	19,25	19,30
45	2,14	23,00	23,18	22,99	23,06
46	2,18	22,04	22,21	22,03	22,09
47	2,5	14,59	14,70	14,58	14,63
48	2,24	20,85	21,00	20,83	20,89
49	2,31	19,22	19,36	19,20	19,26
50	2,21	21,30	21,46	21,28	21,35

Tabla 26. HIDROXIDO DE CALCIO (20M).

Caracterización		Volumen de dosificación(ml)			
Día	pH muestra	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
1	2,63	15,26	15,36	15,27	15,29
2	2,63	15,27	15,30	15,28	15,28
3	2,65	14,68	14,69	14,67	14,68
4	2,1	30,46	30,48	30,44	30,46
5	2,33	23,66	23,68	23,48	23,61
6	2,42	21,02	21,03	20,86	20,97
7	2,42	21,02	21,03	20,86	20,97
8	2,61	15,85	15,86	15,73	15,81
9	2,7	13,23	13,24	13,13	13,20
10	2,64	15,39	15,40	15,27	15,36

Tabla 26. (Continuación)

11	2,56	17,25	17,29	17,14	17,23
12	2,54	17,80	17,84	17,69	17,78
13	2,31	24,32	24,37	24,48	24,39
14	2,35	22,94	22,99	23,09	23,01
15	2,34	23,29	23,29	23,44	23,34
16	2,33	23,63	23,63	23,79	23,68
17	2,24	26,50	26,50	26,67	26,56
18	2,31	24,32	24,32	24,48	24,37
19	2,35	23,40	23,40	23,56	23,45
20	2,42	21,00	21,00	21,14	21,05
21	2,46	19,87	19,87	20,00	19,91
22	2,24	26,38	26,38	26,56	26,44
23	2,28	25,06	25,01	25,17	25,08
24	2,1	30,46	30,20	30,60	30,42
25	2,07	37,36	37,04	37,53	37,31
26	2,11	30,16	29,90	30,30	30,12
27	2,21	27,01	26,78	26,96	26,92
28	2,19	28,05	27,81	27,99	27,95
29	2,21	27,01	26,96	26,96	26,98
30	2,1	30,27	30,40	30,40	30,36
31	2,12	30,15	30,29	30,29	30,24
32	2,21	26,84	26,96	26,96	26,92
33	2,4	21,47	21,57	21,57	21,54
34	2,24	26,38	26,50	26,50	26,46
35	2,8	10,28	10,32	10,32	10,31
36	2,14	29,06	29,18	29,18	29,14
37	2,08	34,84	34,99	34,99	34,94
38	2,21	26,73	26,84	26,84	26,80
39	2,24	26,27	26,38	26,38	26,35
40	2,24	26,32	26,43	26,43	26,39
41	2,3	24,44	24,55	24,55	24,51
42	2,17	28,10	28,22	28,22	28,18
43	2,24	26,27	26,38	26,38	26,35

Tabla 26. (Continuación)

44	2,31	24,27	24,38	24,38	24,34
45	2,14	28,99	29,12	29,12	29,07
46	2,18	27,78	27,90	27,90	27,86
47	2,5	18,39	18,47	18,47	18,44
48	2,24	26,27	26,38	26,38	26,35
49	2,31	24,21	24,20	24,32	24,24
50	2,21	26,84	26,82	26,96	26,87

Tabla 27. HIDROXIDO DE CALCIO (18M).

Caracterización Día	pH muestra	Volumen de dosificación(ml)			Promedio
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
1	2,63	17,37	17,38	17,36	17,37
2	2,63	17,38	17,39	17,38	17,38
3	2,65	16,69	16,70	16,49	16,63
4	2,1	34,63	34,65	34,23	34,50
5	2,33	26,90	26,91	26,59	26,80
6	2,42	23,89	23,91	23,62	23,81
7	2,42	23,89	23,91	23,62	23,81
8	2,61	18,02	18,03	17,81	17,95
9	2,7	15,04	15,05	14,87	14,99
10	2,64	17,50	17,51	17,29	17,43
11	2,56	19,65	19,65	19,41	19,57
12	2,54	20,28	20,15	20,03	20,15
13	2,31	27,52	27,52	27,36	27,47
14	2,35	25,96	25,96	25,81	25,91
15	2,34	26,35	26,35	26,20	26,30
16	2,33	26,74	26,74	26,59	26,69
17	2,24	29,99	29,99	30,16	30,04
18	2,31	27,52	27,52	27,68	27,57
19	2,35	26,48	26,48	26,64	26,53
20	2,42	23,77	23,81	23,91	23,83

Tabla 27. (Continuación)

21	2,46	22,48	22,52	22,61	22,54
22	2,24	29,86	29,91	30,03	29,93
23	2,28	28,30	28,35	28,46	28,37
24	2,1	34,44	34,46	34,60	34,50
25	2,07	42,24	42,26	42,43	42,31
26	2,11	34,10	34,12	34,26	34,16
27	2,21	30,54	30,68	30,68	30,64
28	2,19	31,71	31,86	31,86	31,81
29	2,21	30,54	30,68	30,86	30,69
30	2,1	34,44	34,60	34,80	34,61
31	2,12	34,31	34,47	34,67	34,48
32	2,21	30,54	30,68	30,86	30,69
33	2,4	24,43	24,55	24,40	24,46
34	2,24	30,02	30,16	29,99	30,06
35	2,8	11,70	11,75	11,68	11,71
36	2,14	33,06	33,22	33,02	33,10
37	2,08	39,64	39,82	39,59	39,68
38	2,21	30,41	30,55	30,38	30,45
39	2,24	29,89	30,03	29,86	29,93
40	2,24	29,94	30,08	29,91	29,98
41	2,3	27,81	27,94	27,78	27,84
42	2,17	31,97	32,12	31,93	32,01
43	2,24	29,89	30,03	29,86	29,93
44	2,31	27,75	27,75	27,58	27,69
45	2,14	33,14	33,14	32,95	33,07
46	2,18	31,75	31,75	31,57	31,69
47	2,5	21,02	21,02	20,90	20,98
48	2,24	30,03	30,03	29,86	29,97
49	2,31	27,68	27,68	27,52	27,63
50	2,21	30,68	30,68	30,51	30,62

Tabla 28. HIDROXIDO DE CALCIO (16,40M)

Caracterización Día	pH muestra	Volumen de dosificación(ml)			Promedio
		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
1	2,63	19,57	19,57	19,67	19,61
2	2,63	19,59	19,58	19,69	19,62
3	2,65	18,81	18,80	18,81	18,81
4	2,1	39,03	39,01	39,03	39,02
5	2,33	30,47	30,30	30,32	30,36
6	2,42	27,07	26,96	26,93	26,99
7	2,42	27,07	26,96	26,93	26,99
8	2,61	20,31	20,33	20,31	20,32
9	2,7	16,95	16,97	16,95	16,96
10	2,64	19,72	19,74	19,72	19,73
11	2,56	22,13	22,16	22,03	22,11
12	2,54	22,84	22,86	22,74	22,81
13	2,31	31,25	31,23	31,06	31,18
14	2,35	29,48	29,45	29,30	29,41
15	2,34	29,92	29,89	29,88	29,90
16	2,33	30,36	30,33	30,32	30,34
17	2,24	34,05	34,01	34,00	34,02
18	2,31	31,25	31,22	31,30	31,25
19	2,35	30,02	30,04	30,12	30,06
20	2,42	26,95	26,96	27,03	26,98
21	2,46	25,49	25,56	25,57	25,54
22	2,24	33,85	33,94	33,95	33,91
23	2,28	32,08	32,17	32,18	32,14
24	2,1	39,00	39,10	39,12	39,07
25	2,07	47,83	47,95	47,98	47,92
26	2,11	38,62	38,72	38,74	38,69
27	2,21	34,58	34,67	34,69	34,65
28	2,19	35,91	36,00	36,02	35,98
29	2,21	34,58	34,67	34,69	34,65
30	2,1	39,00	39,10	39,12	39,07

Tabla 28. (Continuación)

31	2,12	38,85	38,95	38,97	38,93
32	2,21	34,58	34,67	34,69	34,65
33	2,4	27,67	27,74	27,75	27,72
34	2,24	34,00	34,08	34,10	34,06
35	2,8	13,18	13,28	13,29	13,25
36	2,14	37,25	37,44	37,56	37,41
37	2,08	44,66	44,89	44,89	44,81
38	2,21	34,26	34,44	34,44	34,38
39	2,24	33,68	33,85	33,85	33,79
40	2,24	33,73	33,91	33,94	33,86
41	2,3	31,33	31,49	31,53	31,45
42	2,17	36,26	36,20	36,24	36,23
43	2,24	33,90	33,85	33,88	33,88
44	2,31	31,32	31,27	31,31	31,30
45	2,14	37,41	37,35	37,39	37,38
46	2,18	35,85	35,79	35,83	35,82
47	2,5	23,73	23,74	23,72	23,73
48	2,24	33,90	33,92	33,88	33,90
49	2,31	31,25	31,26	31,23	31,25
50	2,21	34,64	34,66	34,62	34,64

ANEXO E

CALCULO DEL DIAMETRO DE TUBERIA MEDIANTE LA ECUACION DE TORRICELLI

Se usa la ecuación de Torricelli con el objetivo de calcular el diámetro que debe tener la válvula, para desocupar el lixiviado de carbón ya tratado del tanque T-102 en 1 minuto.

La ecuación de Torricelli nos permite determinar el área de la tubería, con el área calculada se determina el diámetro de la tubería el cual corresponde al diámetro de la válvula a usar.

A continuación, se muestra la ecuación de Torricelli¹¹⁰:

Ecuación 15. Teorema de Torricelli

$$\frac{A}{a} * \sqrt{\frac{2 * h}{g}} = t$$

En donde

A: Área del tanque (6m²)

a: área de la tubería

h: altura del tanque (1m)

g: gravedad (9,8 m/s²)

t: tiempo de desocupado del tanque (60s)

Reemplazando:

$$\frac{6m^2}{a} * \sqrt{\frac{2 * (1m)}{9,8 \frac{m}{s^2}}} = 60s$$

$$\frac{6m^2}{a} * 0,4948s = 60s$$

¹¹⁰ GALVEZ. Op.cit., p. 5

$$\frac{2,9692m^2s}{60s} = a$$

$$0,04948m^2 = a$$

Calculado el área de la tubería, se debe calcular el diámetro de este para lo cual usa la siguiente ecuación:

Ecuación 16. Calculo del área de un círculo a partir del diámetro

$$a = \frac{\pi(D_a)^2}{4}$$

Donde

a: área del círculo

D_a: diámetro del círculo

$$\frac{a * 4}{\pi} = D_a^2$$

$$\sqrt{0,0630m^2} = D_a$$

$$0,2510m = D_a$$

El diámetro de la tubería corresponde a 0,2510m lo que corresponde a 10''

ANEXO F

PARÁMETROS DE OPERACIÓN PARA EL TANQUE AGITADOR

En el tanque de agitación se lleva a cabo el proceso de neutralización del lixiviado de carbón, donde se adiciona la dosis de NaOH determinada en el capítulo 4 para cada pH. La agitación se realiza con un agitador de 2 aspas como se realiza en otros trabajos, para el tanque se estableció un tiempo de agitación de 2 min, con una velocidad de agitación de 200 rpm, estos parámetros se establecieron luego de comparar experimentalmente los datos presentados en varios trabajos¹¹¹¹¹²¹¹³.

Figura 34. Muestra de lixiviado de carbón antes del ensayo (pH=2.54).



Fuente: elaboración propia

¹¹¹ WILLIAM E, Olds, Nickel and Zinc Removal from Acid Mine Drainage: Roles of Sludge Surface Area and Neutralising Agents, Journal of mining, vol 5, p. 2

¹¹² VILLANUEVA, Amulfo Influencia del H₂O₂ , NaOH y CaOH₂ en la remoción de Mn de aguas de drenaje ácido, Universidad Nacional de Trujillo, 2017, p. 15-20

¹¹³ BACH, Miguel Ángel, Tratamiento y control de pH en una mina de drenaje ácido aurífera, Universidad Nacional de Trujillo, 2013, p. 34

Comprobación experimental del tiempo de dosificación:

Se realizaron ensayos a 300rpm, 200rpm y 50 rpm para comprobar los parámetros establecidos en la literatura con una temperatura entre 15-16 °C:

Cuadro 15. Registro de Ensayos hechos a 200 rpm y un pH 2,5.

Ensayo 1						
Tiempo (s)	30	60	90	120	150	180
pH	3,30	5,60	6,30	6,46	6,56	6,60
Temperatura (°C)	15,3	15,4	15,3	15,4	15,7	15,4
Ensayo 2						
Tiempo (s)	30	60	90	120	150	180
pH	3,29	5,59	6,29	6,46	6,55	6,59
Temperatura (°C)	15,3	15,4	15,3	15,4	15,7	15,4
Ensayo 3						
Tiempo (s)	0	0	0	0	0	0
pH	3,33	5,64	6,36	6,52	6,61	6,65
Temperatura (°C)	15,3	15,4	15,3	15,4	15,7	15,4

Cuadro 16. Registro de Ensayos hechos a 300 rpm y un pH 2,5.

Ensayo 1						
Tiempo (s)	30	60	90	120	150	180
pH	3,54	5,71	6,25	6,53	6,72	6,85
Temperatura	15,3	15,4	15,3	15,4	15,7	15,4
Ensayo 2						
Tiempo (s)	30	60	90	120	150	180
pH	3,70	5,58	6,34	6,64	6,9	6,95
Temperatura	15,3	15,4	15,3	15,4	15,7	15,4
Ensayo 3						
Tiempo (s)	30	60	90	120	150	180
pH	3,69	5,56	6,31	6,61	6,87	6,92
Temperatura	15,3	15,4	15,3	15,4	15,7	15,4

Cuadro 17. Registro de Ensayos hechos a 50rpm y un pH 2,5.

Ensayo 1						
Tiempo (s)	30	60	90	120	150	180
pH	3,70	5,10	5,64	5,89	6,08	6,23
Temperatura	15,3	15,4	15,3	15,4	15,7	15,4
Ensayo 2						
Tiempo (s)	30	60	90	120	150	180
pH	3,63	5,00	5,53	5,77	5,96	6,11
Temperatura	15,3	15,4	15,3	15,4	15,7	15,4
Ensayo 3						
Tiempo (s)	30	60	90	120	150	180
pH	3,74	5,15	5,70	5,95	6,14	6,29
Temperatura	15,3	15,4	15,3	15,4	15,7	15,4

Figura 35. Ensayos de Agitación en el equipo de jarras.



Fuente: elaboración propia

Figura 36. Muestras de lixiviado neutralizadas.



Fuente: elaboración propia

Parámetros de operación para el tanque agitador:

Como se puede observar, existe una relación proporcional entre la velocidad de agitación(rpm) y el aumento del pH , donde con una mayor agitación se alcanza el punto de neutralización más rápidamente y se comprueba experimentalmente que la velocidad de agitación si influye en la neutralización “refutando” los experimentos realizados por Villanueva¹¹⁴,.al inicio la mejor velocidad de agitación fue a 300rpm,y, aunque esto asegura un pH de 7 en adelante con un promedio de 3 minutos (Cuadro 16.), que si bien cumple con la norma (resolución 613 de 2015) no se ajusta al valor de pH requerido por la empresa, quien lo solicita a un valor de 6 en adelante para adecuar el lixiviado tratado a un tratamiento de lodos posterior, por esta razón, la velocidad ideal es de 200 rpm con tiempo de agitación de 2 minutos para alcanzar un valor de pH es de 6,44. Con una menor agitación tardaría un mayor tiempo para alcanzar ese valor y con una agitación de 100 rpm (la cual es la más cercana) se tendría un ahorro económico en cuanto a energía pero no se podría asegurar un pH de 6 en adelante, debido a la eficiencia del motor del

¹¹⁴ VILLANUEVA. Op.cit., p. 17

agitador¹¹⁵ y a la disminución de la velocidad de agitación por los lodos generados¹¹⁶

¹¹⁵ VLADIMIR, Uribe, Diseño y cálculo de un agitador de fluidos, Universidad del bio bio, 2013, p. 38

¹¹⁶ JIMENEZ, Jairo, Clarificación con agitación lenta: Experiencias y resultados, Fedepalma, En : PALMAS, Vol 21, p. 341

ANEXO G
CALCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA EN kW/h DEL
CONTROLADOR DE pH

A partir de la ley de Watt:

Ecuación 15. Ley de Watt.

$$P = V.I$$

Donde:

P= potencia consumida por el controlador en kilovatios (kW)

V= voltaje de entrada en voltios (V)

I= Intensidad de corriente en amperios (A)

El controlador opera con un voltaje de 220V con un amperaje de 420mA, de esta manera la potencia en watts (W) es:

$$P = 220V * (420mA * \frac{1A}{1000mA})$$

$$P = 92W$$

El consumo de voltaje se calcula por cada hora de esta manera la potencia consumida es de 92W/h es decir **0,092kW/h**

ANEXO H

COTIZACIONES Y ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS PARA EL SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN

1) *Tanques de almacenamiento de lixiviado de carbón*

Características

“Tanque séptico de fibra de vidrio .Una gran opción para el tratamiento de aguas residuales subterráneas. El tanque séptico de fibra de vidrio está hecho con un material plástico reforzado con fibra de vidrio que es más grueso y durable que el plástico. Los tanques sépticos de TIANCHENG FRP pueden proporcionar un almacenamiento seguro y eficaz por debajo de la superficie del suelo. Los tanques de agua de fibra de vidrio subterráneo se construyen estándar con una calificación que puede manejar el almacenamiento desde 1-100M3. Bajo la superficie. Si se requieren mayores profundidades, los tanques sépticos de fibra de vidrio también se pueden hacer para el almacenamiento en profundidades extendidas o en áreas que requieren conducir en la parte superior”.

Figura 1. Tanque séptico de carbón



Figura 2. Cotización de compra (Alibaba)

proveedor: Dongying Tiancheng Building Material... 1YRS

Gama de productos Perfil de la empresa Datos de contacto Español

Fibra de Vidrio biotech tanque séptico

FOB Referencia Precio: [Consiga El Último Precio](#)

1 - 9 >=10
US \$2000.00 US \$1000.00

Capacidad de L 30 Set/s por Mes
 a fuente:
 puerto: Qingdao

[Contactar](#) [Iniciar Compra](#)

Chatear Poner Orden de La Muestra

vendedor de comercio Aseguramiento
 Apoyo: -para proteger sus órdenes de pago a la entrega

comercio Aseguramiento
 1YRS Dongying Tianche Building Materials Co., Ltd.
 China (Continental) | Fabrican

Nivel de transacciones:
 Evaluaciones de proveedores:
 Tasa de respuesta 100%

visite Minisite Detalles contact


Figura 3. Especificaciones técnicas para cada modelo del tanque de almacenamiento

Tiancheng FRP/SMC especificación del tanque séptico

Modle	Capacidad (M ³)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Distancia de entrada de tapa del tanque (mm)	Distancia salida del tanque (mm)	Espesor (mm)
1 #	2	1200	2300	900	800	6
2 #	4	1500	2700	1200	1100	6
3 #	6	1800	2700	1450	1350	8
4 #	9	1800	4000	1450	1350	8
5 #	12	1800	5300	1450	1350	8
6 #	16	2300	4200	1900	1800	10
7 #	20	2300	5300	1900	1800	10
8 #	25	2300	6600	1900	1800	10
9 #	30	2300	7900	1900	1800	12
10 #	40	2800	6900	2400	2300	12
11 #	50	2800	8700	2400	2300	12
12 #	75	3000	11200	2600	2500	15
13 #	100	3000	15000	2600	2500	15

2) Tanque de agitación y almacenamiento de NaOH



Figura 4. Isotank de 1 metro cubico



Isotankes 1000 Litros-
Nuevos Y Certificado Un

\$ 942.000

36 cuotas de \$ 26.167

VISA  

Más información

Envío gratis a nivel nacional
Envigado, Antioquia

¡Único disponible!

[Comprar](#)

Compra Protegida, recibe el producto que esp
o te devolvemos tu dinero.

Especificaciones técnicas isotank:

Contenedor para el transporte y almacenaje de todo tipo de líquidos.

Con certificación UN para el transporte de sustancias peligrosas.

Capacidad: 1000 litros

Medidas: 120 x 100 x 116 cm

Materia prima (Recipiente interno): HD-PE – Polietileno de alta densidad

Fabricación: Moldeado por soplado

Color: Natural

Materia prima (marco de tubo): Acero galvanizado tubular

Fabricación: Resistencia soldada

Color: Gris

Materia prima (Pallet): HD-PE – Polietileno de alta densidad

Dimensiones (Lo x An x Alt): 120 x 100 x 15 cm

Fabricación: Molde de inyección

Color: Negro

3) Bomba centrífuga

Figura 5. Precio y referencia de la bomba centrífuga seleccionada.


35	Pág Catálogo	Código	Modelo	C.V.	P.V.P. Euros
		1976	CONTRA 300 M	3	959,00
		1977	CONTRA 300 T	3	944,00
		1978	CONTRA 400 T	4	1.209,00
		1979	CONTRA 550 T	5,5	1.260,00
		2450	BOQUILLA CONTRACORRIENTE		162,00

Figura 6. Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga.

CAS / TECHNICAL CHARACTERISTICS / CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Caudal (m ³ /h) Flow - Débit	Altura manom. (m) Height - Hauteur	rpm	IP	Aislamiento Isolation	Refrigeración Cooling - Refroidissement	Temp. max. (°C)
2 - 92	2 - 18	2850	55	F	Ventilación externa External ventilation Ventilation externe	40

MATERIALES / MATERIALS / MATÉRIAUX

Cuerpo bomba - Pump body - Corps de pompe	Polipropileno con fibra de vidrio - Polypropylene with glass fiber - Polypropylène avec fibre de verre
Soporte bomba - Pump base - Support pompe	Polipropileno con fibra de vidrio - Polypropylene with glass fiber - Polypropylène avec fibre de verre
Cuerpo difusor - Diffuser body - Corps diffuseur	Noryl®
Turbina - Impeller - Turbine	Noryl®
Eje - Shaft - Arbre	Acero inoxidable 'AISI 316' - 'AISI 316' Stainless steel - Acier inoxydable 'AISI 316'
Cierre mecánico - Mechanical seal - Fermeture mécanique	Cerámica/Grafito - Ceramic/Graphite - Céramique/Graphite

CURVA / CURVE / COURBE

Modelo Model Modèle	Cod.	P2		I (A)			Ø		Caudal / Flow / Débit (m ³ /h)	Altura manométrica / Height / Hauteur (m)							
		kW	CV	1 - 230V	3 - 230V	3 - 400V	Asp	Imp		2	4	6	8	10	12	14	16
CONTRA 300 M	1976	2,2	3	11	-	-	2 1/2"	2"	52	48	44	40	35	30	24	10	
CONTRA 300 T	1977	2,2	3	-	9	5,2	2 1/2"	2"	52	48	44	40	35	30	24	10	
CONTRA 400 T	1978	3	4	-	13,2	7,6	3"	3"	78	73	65	58	48	36	20	2	
CONTRA 550 T	1979	4	5,5	-	17,9	10,3	3"	3"	92	86	80	70	60	50	35	16	

4) Bomba dosificadora de NaOH

Figura 7. Precio y referencia de la bomba dosificadora.


	Bomba dosificadora oscilante serie Dostec	
	Referencia: DOSTEC-OS	
	Precio (sin IVA)	726,00 €
	Precio (con IVA)	878,46 €
Contenido	1 Unidad	

Figura 8. Especificaciones técnicas bomba dosificadora de NaOH.

Especificaciones técnicas generales bomba oscilante serie Dostec Caudal 2,7 ... 1000 l/h Presión operativa 4 ... 15 bar Pistón PEUHMW o cerámico Configuraciones disponibles de la bomba oscilante (1) Modelo 60 Dostec 40 71 Dostec 50 (2) Motor A trifásico 230 / 400 V, 50 / 60 Hz B monofásico 230 V, 50 Hz C monofásico 110 V, 60 Hz D 12 V DC, 130 W E 12 V DC, 300 W F 24 V DC, 130 W G 24 V DC, 300 W L trifásico 230 / 400 V, 50 / 60 Hz, 1cv M monofásico 230 / 400 V, 50 / 60 Hz, 1 cv		(3) Cabeza de bomba P Pistón D Diafragma (4) Ciclos 1 22 ciclos / min 2 36 ciclos / min 3 60 ciclos / min 4 120 ciclos / min 5 144 ciclos / min (5) Elevación 1 4,5 mm 2 7,5 mm 3 9 mm 4 15 mm
--	--	--

5) Motor agitador

Figura 9. Precio y referencia del motor agitador seleccionado.



Más nueva mezcla química, eléctrica industrial agitador

FOB Referencia Precio: [Consiga El Último Precio](#)

US \$800-4,000 / Set | 1 Set/s Eléctrica agitador (min. Order)

Capacidad de L 300 Set/s por Mes Eléctrica agitador a fuente:

puerto: ShangHai, China

[Contactar](#)

dejar Mensajes

pago: [VISA](#) [MasterCard](#) [TT](#) [e-Checking](#) More ∨

Top entering agitator

Figura 10. Especificaciones técnicas del motor agitador.

Condición:	Nuevo	Tipo del mezcl...:	Mezclador	Tipo de product...:	Eléctrica agitador
Uso:	Química máquina de mezcla	Capacidades a...:	Agitación	Lugar del origen:	Shanghai, China (Mainland)
Marca:	Hanwa	Número de Mo...:	HCE870 serie	Capacidad de c...:	20000L
Voltaje:	220 V, 380 V	Energía (W):	0.2KW ~ 3.7KW	Dimensión (L*...):	Diseño personalizado
Certificación:	CE, ISO9001	Garantía:	Un año	Servicio After-s...:	Dirige disponible para mantene...
Potencia:	0.2KW ~ 3.7KW	Materiales:	Sus304, sus316, revestimiento ...	Tipo de agitador:	Eléctrica agitador
OEM aceptado:	Sí	Diseño persona...:	Sí	Anti-corrosivo:	Sí
Anti-explósión:	Sí	Moq:	Un conjunto		

Parámetro detallado para el agitador eléctrico industrial de la serie hce870:

Model	Output Power (KW)	Changeable Rotate Speed (rpm)		Shaft Length (MM)	Shaft Diameter (MM)	Paddle Diameter (MM)	Flange Plate Model	Agitating Capacity (L)	
		50Hz	60Hz					Thin	Thick
HCE-8702-NRX	0.2	0~350		800	22	160	100A	1000	400
HCE-8703-NRX	0.4			1000	28	200		2000	800
HCE-8704-NRX	0.75			1200	32	250		4000	1500
HCE-8705-NRX	1.5			1500	40	300	200A	8000	3000
HCE-8706-NRX	2.2			1500	40	350		12000	5000
HCE-8707-NRX	3.7			2000	45	400		20000	8000

Figura 10. (Continuación)

Brida planta parámetro:

Flange size					
Model	External diameter (MM)	Distance of screw hole center(MM)	Screw hole diameter (MM)	Number of screw	Thickness (MM)
50A	155	120	19	4	12
80A	185	150	19	4	12
100A	210	175	19	4	14
125A	250	210	20	4	14
150A	280	240	23	4	16
200A	330	290	23	6	20
300A	445	400	25	8	22
400A	560	510	27	8	30
450A	620	565	27	10	30
500A	675	620	27	10	32
600A	795	730	33	12	35

6) Sensor flotador

Figura 11. Precio y referencia del sensor flotador

Imagen	N.º de artículo de Mouser	N.º de artículo del Fabricante	Fabricante:	Descripción	 Hoja de datos	Disponibilidad	Precio: (USD)
	934-59630-1-T-02-A	59630-1-T-02-A	Hamlin / Littelfuse	Sensores de nivel de líquido 59630 1T02A FLOAT SENSOR	Hoja de datos	1,298 En existencias	1: \$6.30 10: \$5.67

Figura 12. Especificaciones técnicas sensor flotador

Littelfuse
Reed Sensors
Float Sensor > 59630

59630 Sensor with Integral Float Actuator

RoHS



Description

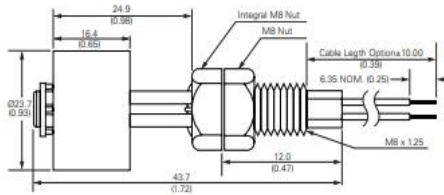
The 59630 is a reed level sensor with integral float actuator and an M8 x 1.25mm pitch thread with a choice of normally open, normally open high voltage, normally closed or change over contacts. It is capable of switching up to 265Vac/300Vdc at 10VA. It is ideally suited to liquid and air conditioning condensate and industrial process control applications.

Features

- Sensor with integral blown polypropylene float, with integral magnet
- Sensor operates when float rises from end stop position
- Choice of contacts
- Choice of connector and cable length options

Dimensions

Dimensions in mm (inch)



Benefits

- Hermetically sealed, magnetically operated contacts continue to operate long after optical and other technologies fail due to contamination
- No standby power required
- Simple installation with M8 thread and nut

Applications

- Liquid level control
- Air conditioning systems
- Industrial Process Control

Schematics	Switch Type
	1 and 2
	3
	4

Figura 12. (Continuación).

Electrical Ratings

Contact Type			Normally Open	Normally Open High Voltage	Change Over	Normally Closed
Switch Type			1	2	3	4
Contact Rating ¹		VA/Watt - max.	10	10	5	10
Voltage ⁴	Switching ²	Vdc - max.	200	300	175	200
	Breakdown ³	Vac - max. Vdc - min.	140 250	265 400	120 200	120 250
Current ⁴	Switching ²	Adc - max. Aac - max.	0.5 0.35	0.4 0.30	0.25 0.18	0.5 0.18
	Carry	Adc - max.	1.2	1.4	1.5	1.2
Resistance ⁵	Contact, Initial Insulation	Ω - max.	0.2	0.2	0.2	0.2
		Ω - min.	10 ¹⁰	10 ¹⁰	10 ⁹	10 ¹⁰
Capacitance	Contact	pF - typ.	0.3	0.2	0.3	0.3
Temperature	Operating	°C	-40 to +105	-20 to +105	-40 to +105	-40 to +105

Product Characteristics

Operate Time ⁶		ms - max.	1.0	1.0	3.0	3.0
Release Time ⁶		ms - max.	1.0	1.0	3.0	3.0
Shock ⁷	11ms ½ sine	G - max.	100	100	50	50
Vibration ⁷	50-2000 Hz	G - max.	30	30	30	30

Notes:

- Contact rating - Product of the switching voltage and current should never exceed the wattage rating. Contact Littelfuse for additional load/life information.
- When switching inductive and/or capacitive loads, the effects of transient voltages and/or currents should be considered. Refer to Application Notes AN108A and AN107 for details.
- Breakdown Voltage - per MIL-STD-202, Method 301.
- Electrical Load Life Expectancy - Contact Littelfuse with voltage, current values along with type of load.
- This resistance value is for 300mm wire length. Resistance varies based on wire length.
- Operate (including bounce)/Release Time - per EIA/NARM RS-421-A, diode suppressed coil (Coil II).
- Shock and Vibration - per EIA/NARM RS-421-A and MIL-STD-202.
- For custom modifications to the wire length or size, or adding a special connector, please contact Littelfuse.

7) Sensor flotador magnético

Figura 13. Precio y referencia sensor flotador magnético

Imagen	N.º de artículo de Mouser	N.º de artículo del Fabricante	Fabricante:	Descripción	Disponibilidad	Precio: (USD)
	876-LS01-1B66-PA500W	LS01-1B66-PA-500W	MEDER electronic (Standex)	Sensores de nivel de líquido 1 Form B 8mm w/Magnetic Float	106 En existencias	1: \$23.69 5: \$23.12 10: \$19.34 25: \$17.89

[Ampliar](#) [Hoja de datos](#) Min.: 1

Figura 14. Especificaciones técnicas sensor flotador magnético.




- Features: Compact Single Level Vertical Mount LS, High Power Switch Option, Other Cables & Connectors
- Applications: Level Control, Detection and Monitoring
- Markets: Automotive, Appliance, HVAC/R, Test & Measurement

Part-Description: **LS-01 0X00-XX-000X**



Contact QTY	Contact Form	Switch Model	Material	Cable Length (mm)	Cable Termination
01	A (SPST-NO) B (SPST-NC)	66, 85	PA, PP	500, 1,000, 5,000	W = Stripped and Tinned

Customer Options	Switch Model		Unit
Contact Data	66	85	
Rated Power (max.) Any DC combination of V&A not to exceed their individual max.'s	10	100	W
Switching Voltage (max.) DC or peak AC	200	400	V
Switching Current (max.) DC or peak AC	0.5	1.0	A
Carry Current (max.) DC or peak AC	1.25	2.5	A
Contact Resistance (max.) @ 0.5V & 10mA	150	150	mOhm

Glossary Contact Form		
Form A	NO = Normally Open Contacts SPST = Single Pole Single Throw	
Form B	NC = Normally Closed Contacts SPST = Single Pole Single Throw	
Form C	Changeover SPDT = Single Pole Double Throw	

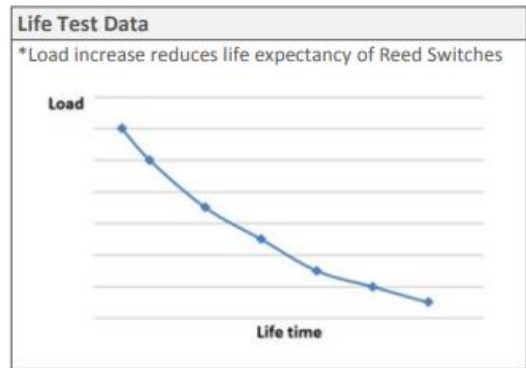
Glossary Material	
PP: Polypropylene	For water applications and dilute acids
PA: Polyamide	For oil
NBR: Nitrile Butadiene Rubber	For oil, gasoline & in high temperatures
SS: Stainless Steel	For high temp. (< 160° C)

Figura 14. (Continuación).

General Sensor Data			
Materials			
Stem, nut	PA	PP	
Float	PA	PP	NBR
Seal	Nitrile Rubber		
Cable spec	Low voltage (Switch Model 66)		High voltage (Switch Model 85)
	Cross Section (mm ²)	0.14	0.25
Cable material	PVC		
Packing	Bulk		



Environmental Data		Unit
Shock Resistance (max.) 1/2 sine wave duration 11ms	50	G
Vibration Resistance (max.)	20	G
Operating Temperature Cable not moved	-20 to 80	°C
Operating Temperature Cable moved	-5 to 80	°C
Storage Temperature	-30 to 70	°C



Handling & Assembly Instructions	
➤	Max torque of screw is 1Nm
➤	Cable bending-radius is diameter x 15
➤	Min. bending distance to housing is 5mm
➤	Drag mark out of the mounting area forbidden
➤	Decrease switching distance by mounting on iron
➤	Series resistor recommended for > 5m cable length



8) Sensor de pH

El sensor para el sistema de neutralización de pH es de la marca EMEC, mismo que se planea utilizar en un proyecto similar de tratamiento de aguas en la central Termozipa. En la figura 15 se encuentra resaltado el costo del sensor de pH

Figura 15. Cotización para los componentes de un sistema de neutralización

COT-EMGESA-NEUTRALIZACIÓN-AGO01-17(V.4)



5. VALOR DE LA PROPUESTA

Tabla No 1. Valor de la propuesta

SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VR. UNID.	SUBTOTAL
1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE UNIDAD DE NEUTRALIZACIÓN EN LÍNEA SEGÚN DESCRIPCIÓN.				
1.1.	Dosificadora EMEC AMS MF0260	Und	1	\$ 4.650.000	\$ 4.650.000
1.2.	Controlador EMEC LDPH con electrodo autolimpiante	Und	1	\$ 6.850.000	\$ 6.850.000
1.3.	Canaletas en PRFV según descripción	Und	2	\$ 2.800.000	\$ 5.600.000
1.4.	Tablero y redes eléctricas	Gl	1	\$ 4.350.000	\$ 4.350.000
1.5.	Caseta para ubicación de equipos	Und	1	\$ 1.750.000	\$ 1.750.000
1.6.	Consumibles	Gl	1	\$ 3.490.000	\$ 3.490.000
1.7.	Dirección, montaje, arranque y acompañamiento.	Gl	1	\$ 8.650.000	\$ 8.650.000
1.8.	Electrodo autolimpiante EPHSC de backup	Und	1	\$ 1.720.000	\$ 1.720.000
	SUBTOTAL DE LA PROPUESTA				\$ 37.060.000
	IVA DEL 19%				\$ 7.041.400
	TOTAL CON IVA				\$ 44.101.400

Figura 16. Especificaciones Técnicas sensores de pH serie EPH.

	EPHS	EPHM	EPHL	EPHMD	EPHM/HF	EPHSN6	EPHMD/100	EPHSC	EPHSC/SN6	EPHSN6 GK
Measuring Range	0-14 pH									
Resolution	0,01									
Max pressure / temp.	7 bar/70°C (3,5 bar / 80°C)	7 bar/70°C (3,5 bar / 80°C)	7 bar/70°C (3,5 bar / 80°C)	7 bar/70°C (3,5 bar / 80°C)	7 bar/70°C (3,5 bar / 80°C)	7 bar/70°C (3,5 bar / 80°C)	7 bar / 100°C	7 bar/70°C (3,5 bar / 80°C)	7 bar/70°C (3,5 bar / 80°C)	10 bar/20°C
Body	EPOXY	EPOXY	EPOXY	EPOXY	EPOXY	EPOXY	EPOXY	EPOXY	EPOXY	GLASS
Installation Diameter	12 mm	12 mm	12 mm	12 mm	12 mm	PG13,5	12 mm	12 mm	PG13,5	PG13,5
Electrical Connection	BNC	BNC	BNC	BNC	BNC	SN6	BNC	BNC	SN6	S8
Cable length	0,8 m	4,5 m	15 m	4,5 m	4,5 m	without cable	4,5 m	4,5 m	without cable	without cable
Minimum working conductivity	100 µS	100 µS	100 µS	1 µS	100 µS	100 µS	100 µS	100 µS	100 µS	150 µS
Features	-	-	-	Low ionic Double junction	Hydrofluoric acid resistant (1%)	-	Double junction	Self cleaning Double junction	Self cleaning Double junction	High temperature (-5/135°C)

EMEC

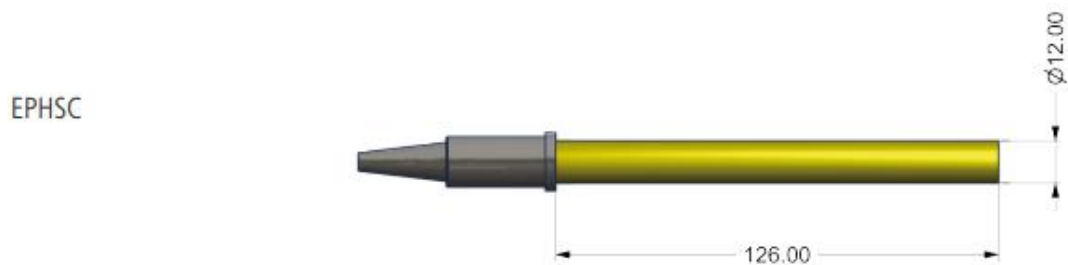
ISO 9001:2008
ISO 14001:2004
OHSAS 18001:2007



Via Donatori di sangue, 1 - 02100 Rieti - Italy
Tel. +39 0746 2284 1 - Fax +39 0746 2284 2 - <http://www.emec.it>

Specifications subject to change without notice.
EN R1-02-16

Figura 17. Dimensiones sensor de pH EPHSC



9) Controlador de pH

En la figura 18 se encuentra resaltado el costo del controlador de pH

Figura 18. Cotización sistema de neutralización

COT-EMGESA-NEUTRALIZACIÓN-AGO01-17(V.4)



5. VALOR DE LA PROPUESTA

Tabla No 1. Valor de la propuesta

SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PUESTA EN MARCHA					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	VR. UNID.	SUBTOTAL
1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE UNIDAD DE NEUTRALIZACIÓN EN LÍNEA SEGÚN DESCRIPCIÓN.				
1.1.	Dosificadora EMEC AMS MF0260	Und	1	\$ 4.650.000	\$ 4.650.000
1.2.	Controlador EMEC LDPH con electrodo autolimpiante	Und	1	\$ 6.850.000	\$ 6.850.000
1.3.	Canaletas en PRFV según descripción	Und	2	\$ 2.800.000	\$ 5.600.000
1.4.	Tablero y redes eléctricas	Gl	1	\$ 4.350.000	\$ 4.350.000
1.5.	Caseta para ubicación de equipos	Und	1	\$ 1.750.000	\$ 1.750.000
1.6.	Consumibles	Gl	1	\$ 3.490.000	\$ 3.490.000
1.7.	Dirección, montaje, arranque y acompañamiento.	Gl	1	\$ 8.650.000	\$ 8.650.000
1.8.	Electrodo autolimpiante EPHSC de backup	Und	1	\$ 1.720.000	\$ 1.720.000
	SUBTOTAL DE LA PROPUESTA				\$ 37.060.000
	IVA DEL 19%				\$ 7.041.400
	TOTAL CON IVA				\$ 44.101.400

Figura 19. Especificaciones técnicas controlador de pH

Model	EPHS	EPHM	EPHL	EPHM/D	EPHM/HF	EPHSN6	EPHMD/100	EPHSC	EPHSC/SN6
Measuring Range	0-14				0-14				
Resolution	0,01				0,01				
Max Pressure/Temperature	7bar/70°C (3,5bar/80°C)	7bar/70°C (3,5bar/80°C)	7bar/70°C (3,5bar/80°C)	7bar/70°C (3,5bar/80°C)	7bar/70°C (3,5bar/80°C)	7bar/70°C (3,5bar/80°C)	7bar/100°C	7bar/70°C (3,5bar/80°C)	7bar/70°C (3,5bar/80°C)
Body	Epoxy				Epoxy				
Installation Diameter	12 mm	12 mm	12 mm	12 mm	12 mm	PG 13,5	12 mm	12 mm	PG 13,5
Electrical Connection	BNC	BNC	BNC	BNC	BNC	SN6	BNC	BNC	SN6
Cable Length	0.8 m	4.5 m	15 m	4.5 m	4.5 m	without cable	4.5 m	4.5 m	without cable
Minimum Working Conductivity	100µS	100µS	100µS	1µS	100µS	100µS	100µS	100µS	100µS
Features	-			Low ionic	Hydrofluoric acid resistant	-	Double junction	self cleaning	self cleaning

10) Electroválvula

Electroválvula con solenoide, cuerpo en acero inoxidable, normalmente cerrada, de la marca Helberticia.

Figura. 20. Precio para las electroválvulas de las serie MAM

SERIE 710



Electroválvula con SOLENOIDE 24, 110 o 220V

CÓDIGO	DIÁMETRO	CONEXIÓN	PRECIO	POL
MAMJ701-710	2"	ANSI 150	\$ 2.255.000	CO
MAMJ702-710	3"	ANSI 150	\$ 3.185.000	CO
MAMJ703-710	4"	ANSI 150	\$ 4.515.000	CO
MAMJ704-710	6"	ANSI 150	\$ 7.402.000	CO
MAMJ705-710	8"	ANSI 150	\$ 11.225.000	CO
MAMJ706-710	10"	ANSI 150	\$ 18.889.000	CO
MAMJ707-710	12"	ANSI 150	\$ 29.215.000	CO

La electroválvula seleccionada es de la referencia MAMJ706-710, con un diámetro de 10 pulgadas y un valor total sin IVA de \$ 18.889.000 pesos colombianos

11) Válvula mariposa

Válvula de accionamiento manual tipo mariposa marca Helberticia

La válvula seleccionada es de la referencia IHWO250, con un diámetro de 10 pulgadas y un precio de \$ 867.200 pesos colombianos

Figura 21. Precio y referencia de las válvulas tipo mariposa de la serie IHWO



Ref.: 10-02-2017

VÁLVULA MARIPOSA CON DISCO EN ACERO INOXIDABLE CON ACTUADOR TIPO VOLANTE O TIPO PALANCA

Cuerpo en Hierro dúctil GGG40, disco en Acero inoxidable SS 304, sello en Caucho EPDM, eje en acero inoxidable SS 416, para montaje entre bridas ANSI 125. Presión de trabajo 150 PSI.



CÓDIGO Tipo palanca	\$ PRECIO Tipo palanca	DIÁMETRO	POL
IHWO050	\$ 97,900	2"	CO
IHWO063	\$ 122,200	2-1/2"	CO
IHWO075	\$ 134,300	3"	CO
IHWO100	\$ 185,000	4"	CO
IHWO150	\$ 332,900	6"	CO
IHWO200	\$ 519,500	8"	CO
IHWO250	\$ 867,200	10"	CO
IHWO300	\$ 1,167,800	12"	CO

REFERENCIA 10-04-2016

ANEXO I

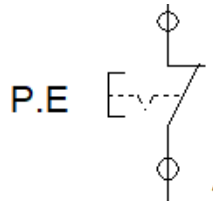
MANUAL PLANO ELECTRICO

El diagrama de control eléctrico está constituido por pulsadores, contactos, temporizador, alarmas lumínicas y bobinas.

En donde

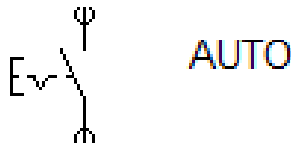
P.E

Es un pulsador NC que representa el pare de emergencia total del sistema de neutralización se usa como media de seguridad en caso de daño de algún equipo, mantenimiento o incidente presentado.



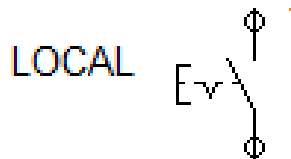
Auto

Se representa mediante un switch el cual permite la activación del sistema para un funcionamiento automático.



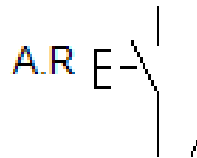
Local

Se representa mediante un switch el cual permite la activación del sistema para un funcionamiento manual.



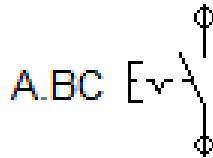
A.R

Este pulsador permite la desactivación del sistema automático y la activación del manual.



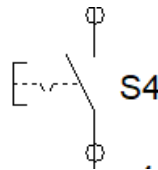
A.BC

Este switch permite la activación o desactivación de la bomba p-1 cuando el sistema se encuentra en manual.



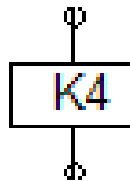
S0, S1, S2, S3, S4, S5, S6 Y S7

Se representan como contactos NA en el funcionamiento automático y como switches NA en el funcionamiento manual. Estos representan los sensores de nivel ubicados en los tanques T-101 Y T-102.



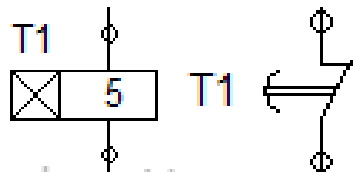
Bobinas

Las bobinas presentes en el diagrama de control eléctrico son K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10 y K20.



Temporizador

El temporizador con retardo a la conexión es el usado en el diagrama de control eléctrico y se identifica con la letra y número T1 al igual que sus contactos relacionados.



Alarma visual

El diagrama cuenta con 8 alarmas visuales estas representan la activación o desactivación de un determinado sensor o bomba.

A continuación se nombra el color de las diferentes alarmas luminosas y su función

Verde: representa que la bomba P-1 está fuera de servicio.

Roja: representa que la bomba P-1 está en servicio.

Gris: representa que el sensor S0 está inactivo esto como medida de precaución para la bomba P-1.

Negro: representa que el sensor S1 está inactivo esto como medida de precaución para la bomba P-1.

Purpura: representa que se activó el sensor S3 lo que indica que el sensor S2 dejó de funcionar.

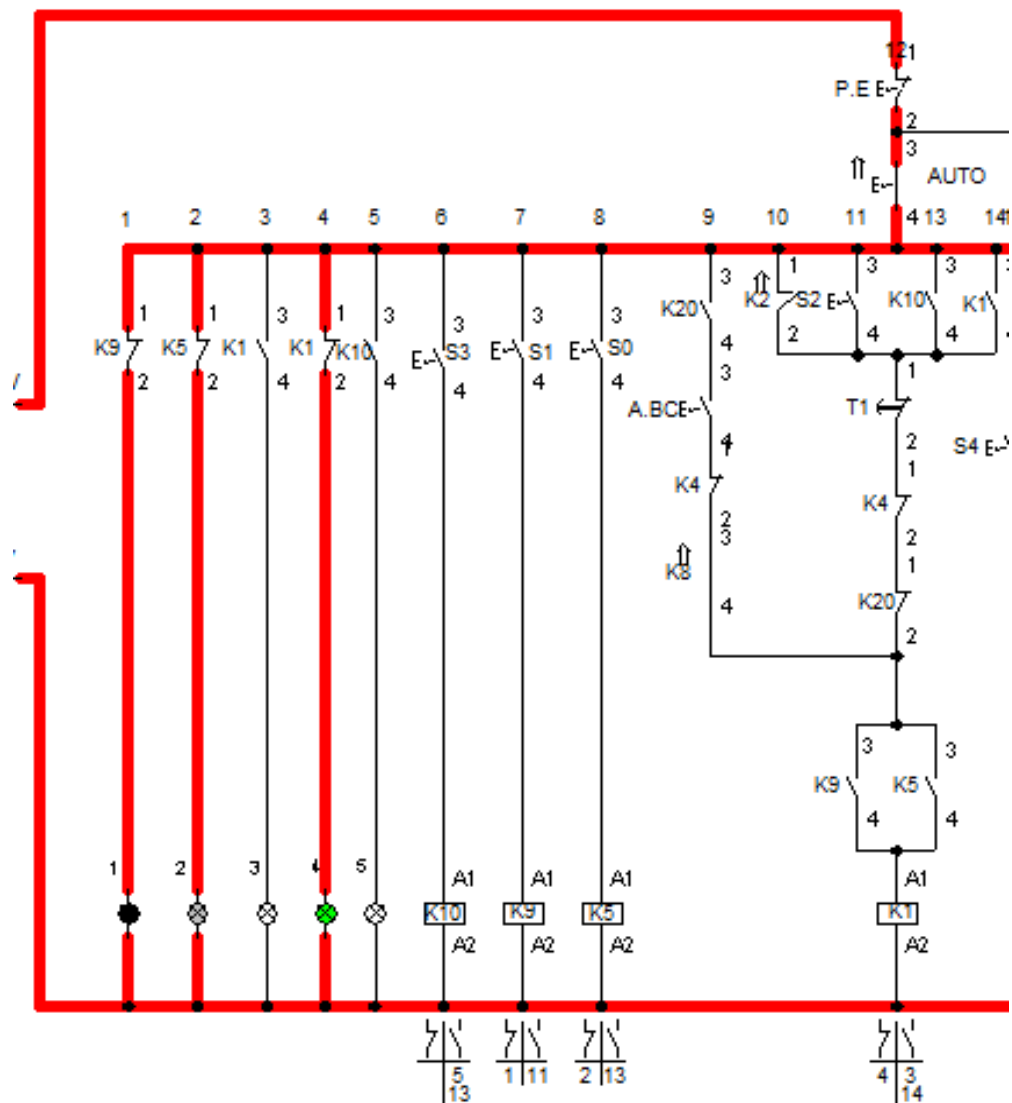
Amarillo: representa el funcionamiento del controlador y del agitador.

Azul: representa la activación de la electroválvula.

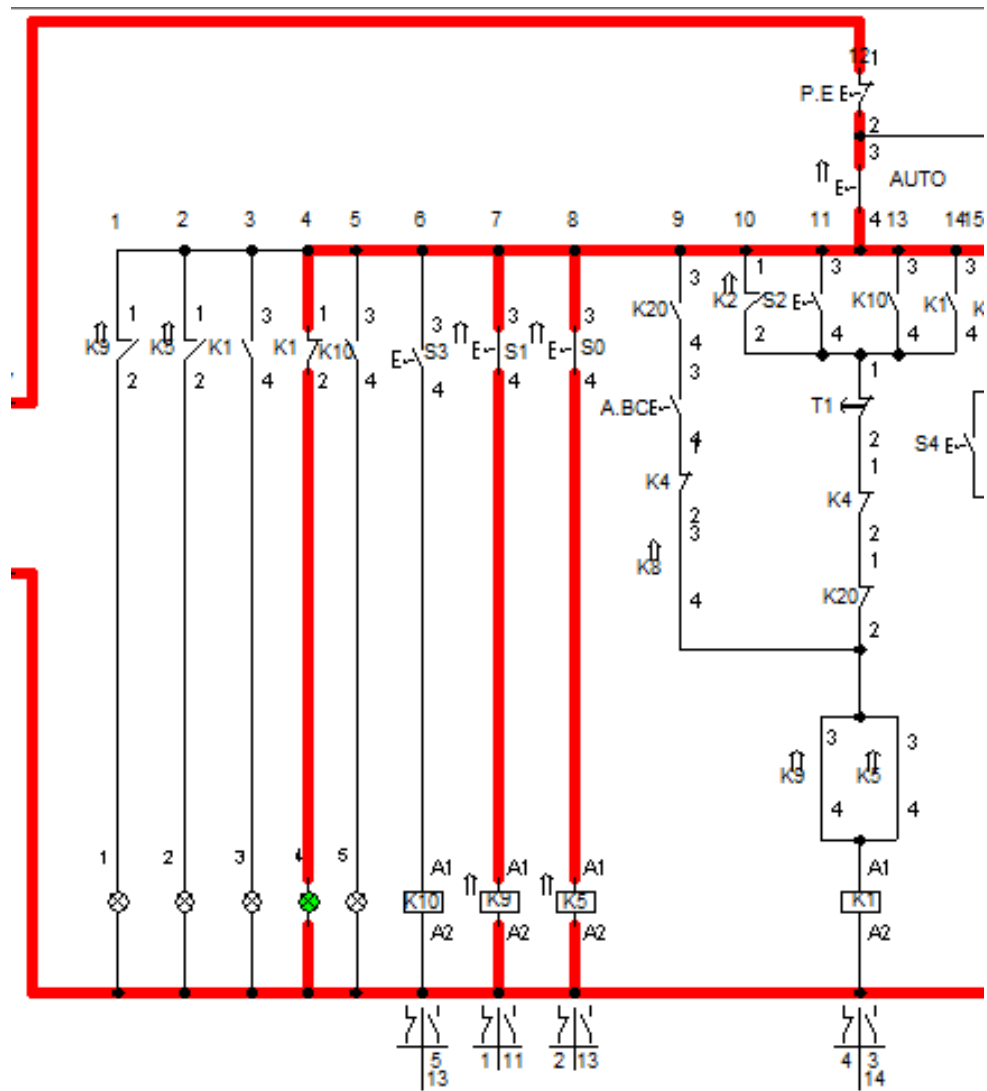
FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA AUTOMATICO

El diagrama de control eléctrico permite el control del sistema de neutralización en el cual se realiza la activación de la bomba centrífuga p-1 para transportar lixiviado de carbón desde el tanque T-101 hacia el tanque T-102, activación del agitador, dosificación, y activación de la válvula de control para el desocupado del tanque. El control se puede dar de forma manual o automática esto mediante la activación del pulsador auto o local según lo deseado por el operador.

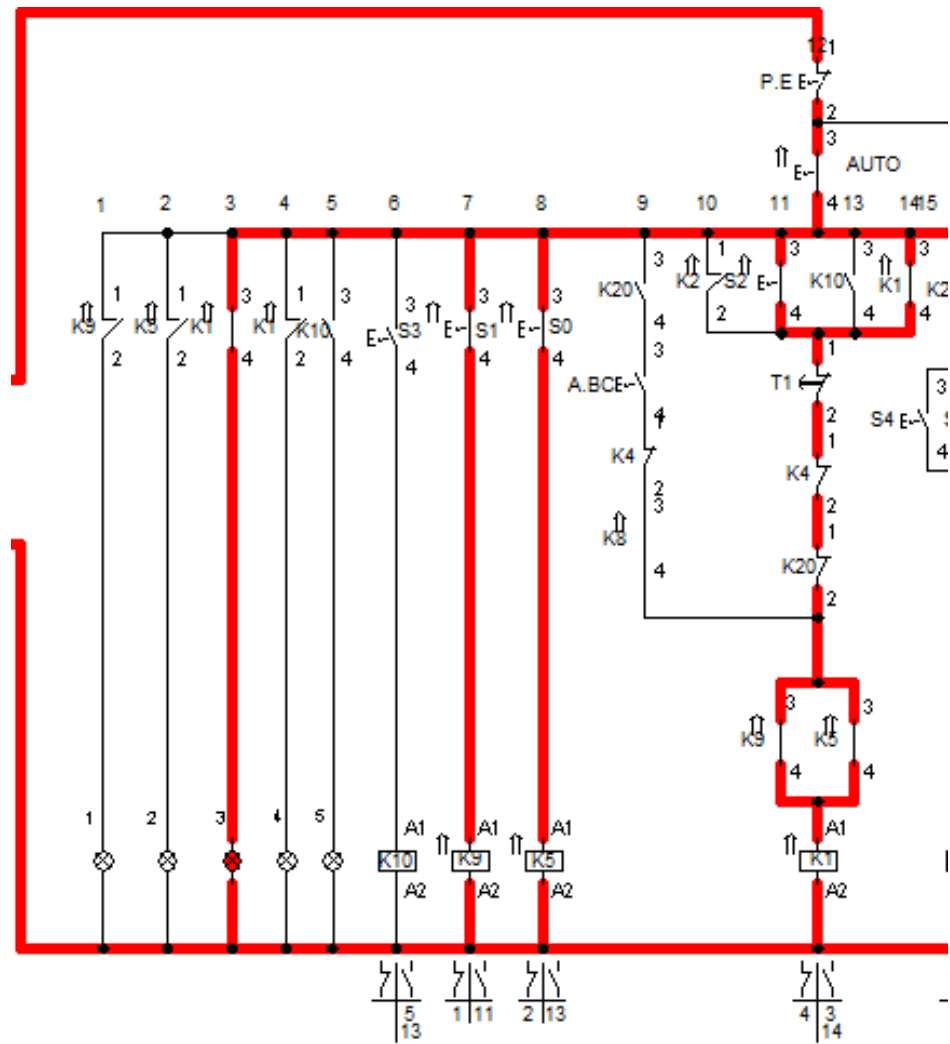
Para el control automático se debe activar el pulsador automático en este momento se encontrarán activas las alarmas lumínicas de color gris, negro y verde que indica que los sensores s0 (gris) y s1 (negro) están inactivos es decir no hay nivel en el tanque y que la bomba p-1 está fuera de servicio (verde)



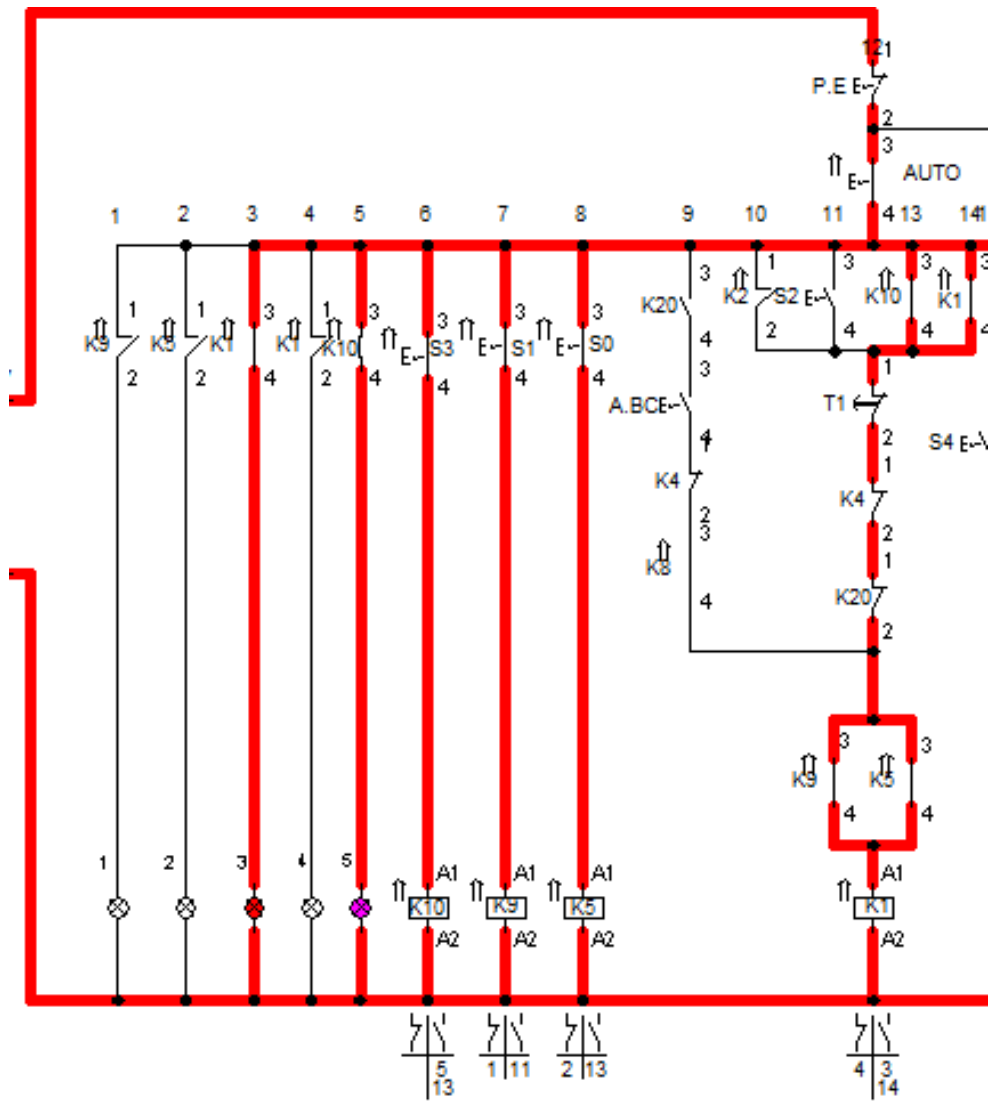
El sistema empezara su funcionamiento con la activación de los sensores de nivel s0 y s1 estos sensores estas ubicados en la parte inferior del tanque y su objetivo es no permitir que la bomba funcione en vacío. Una vez activos estos sensores (es decir el nivel del agua subió hasta tocarlos y cambiar de estado la posición de su contacto de NA a NC) las alarmas lumínicas de color negra y gris se apagaran.



Con la activación del sensor s2 que indican que el nivel en el tanque está en la parte superior se realiza la activación de la bomba p-1 la activación de la bomba presenta una señal de alarma lumínica de color rojo y la desactivación de la alarma lumínica verde

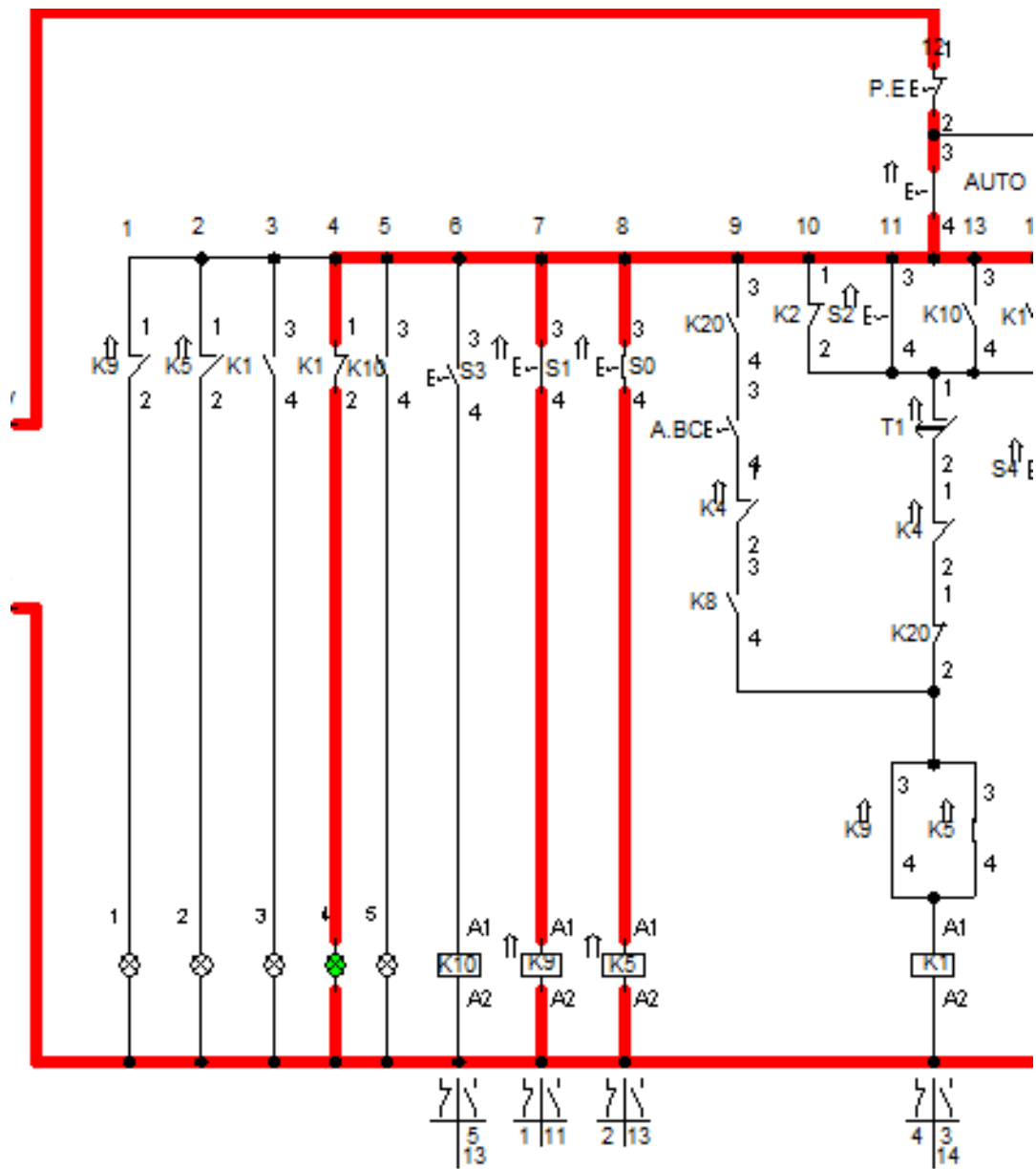


El sensor s3 se encuentra ubicado arriba del sensor s2 este sensor muestra alarma lumínica color purpura y se activará solo en el momento que el sensor s3 deje de funcionar esto como medida de prevención.

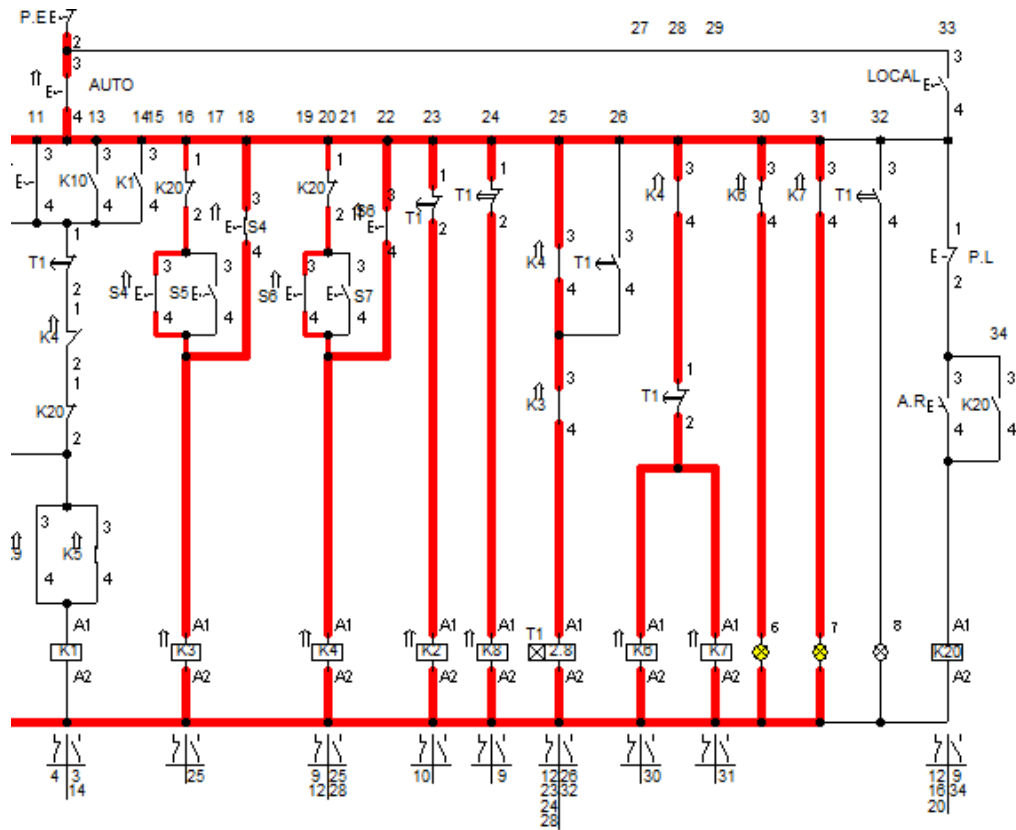


En el tanque T-102 se ubican los sensores s4, s5, s6 y s7 estos permitirán la activación de dosificador, agitador, temporizador y la electroválvula.

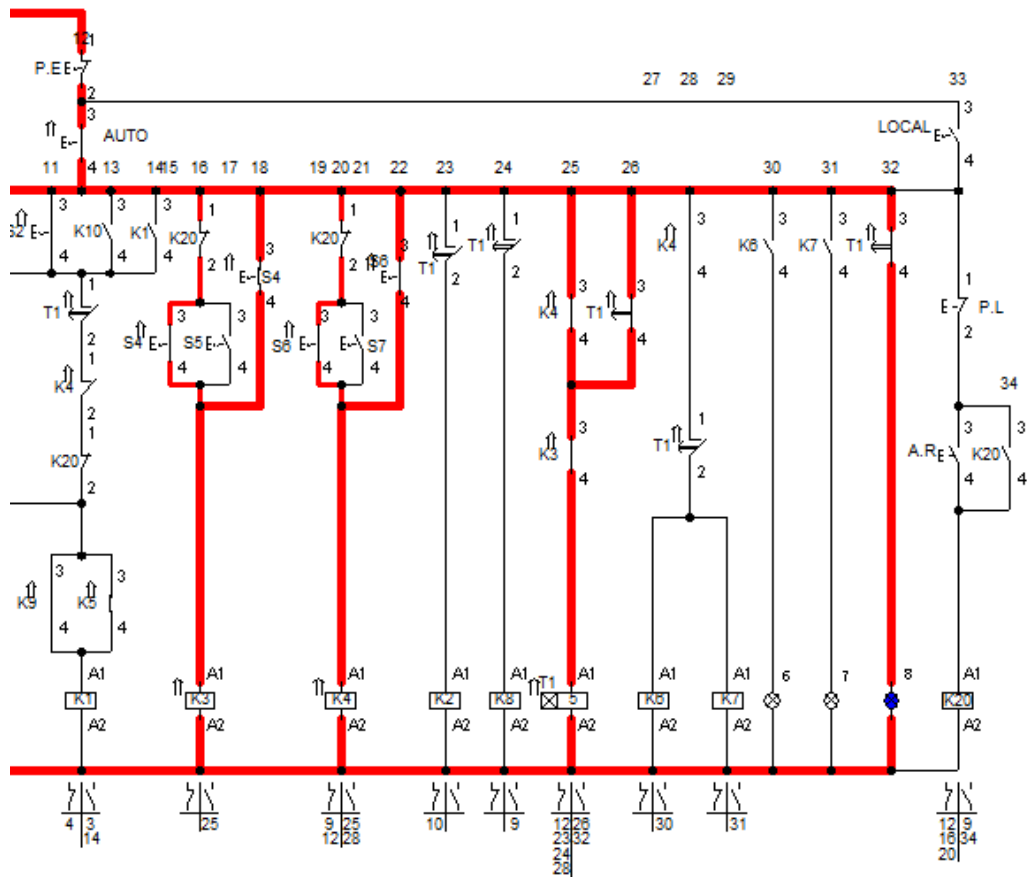
Con el llenado del tanque T-102 el nivel en este activara los sensores s4 y s5 ubicado en la parte inferior del tanque y posterior mente los sensores s6 y s7 ubicados en la parte superior del tanque, una vez el nivel en el tanque active estos sensores se detendrá de la bomba P-1, es decir, se desactivará la alarma roja y se activara la verde



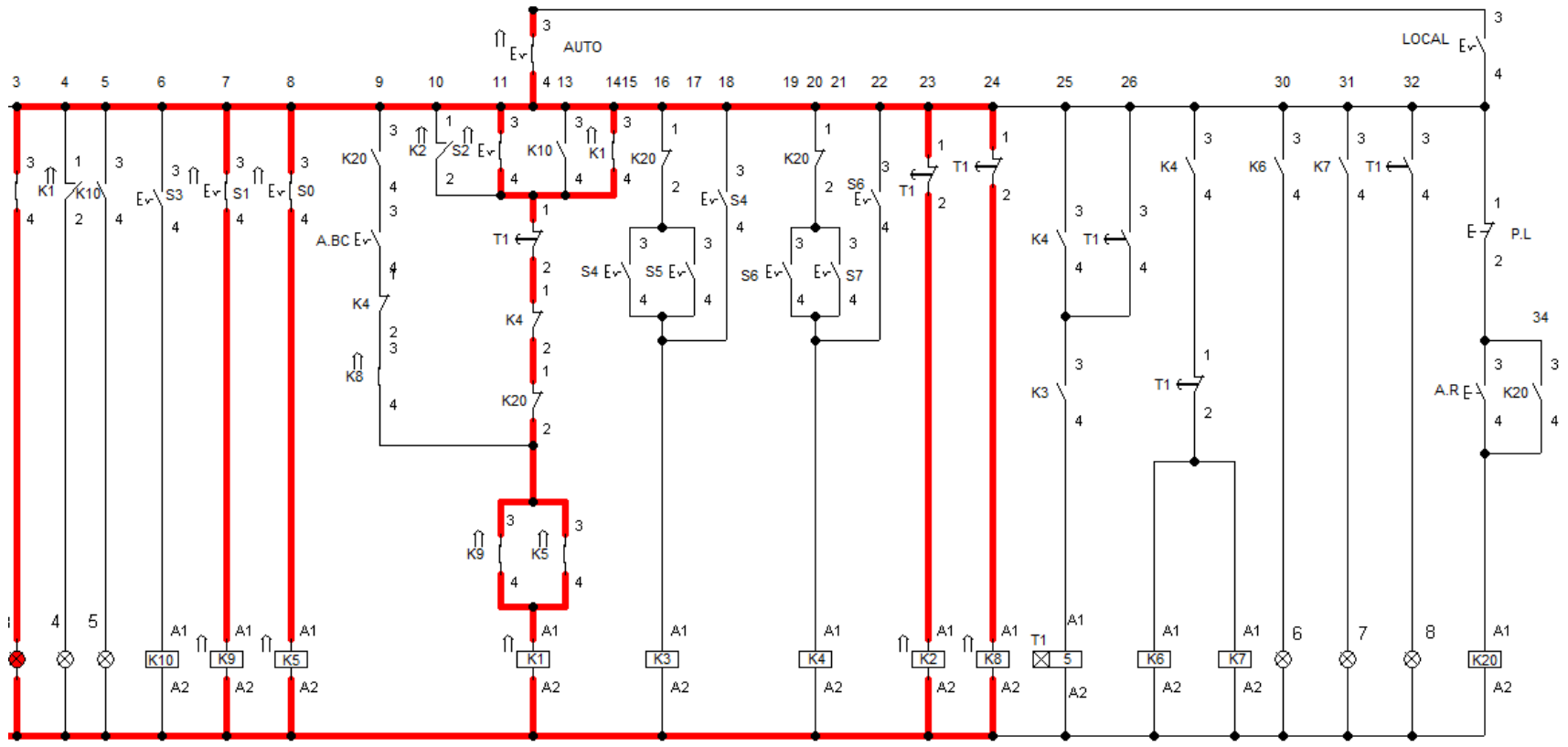
Al mismo tiempo ocurre la activación del temporizador, activación de bomba dosificadora P-2 y agitador estos dos últimos cada uno representado por una alarma lumínica color amarillo.



Transcurrido el tiempo del temporizador se desactivará la bomba dosificadora P-2 y el agitador y se activará la electroválvula V-1 representada por el alamar lumínica color azul, la cual permitirá la evacuación del lixiviado de carbón ya neutralizado.

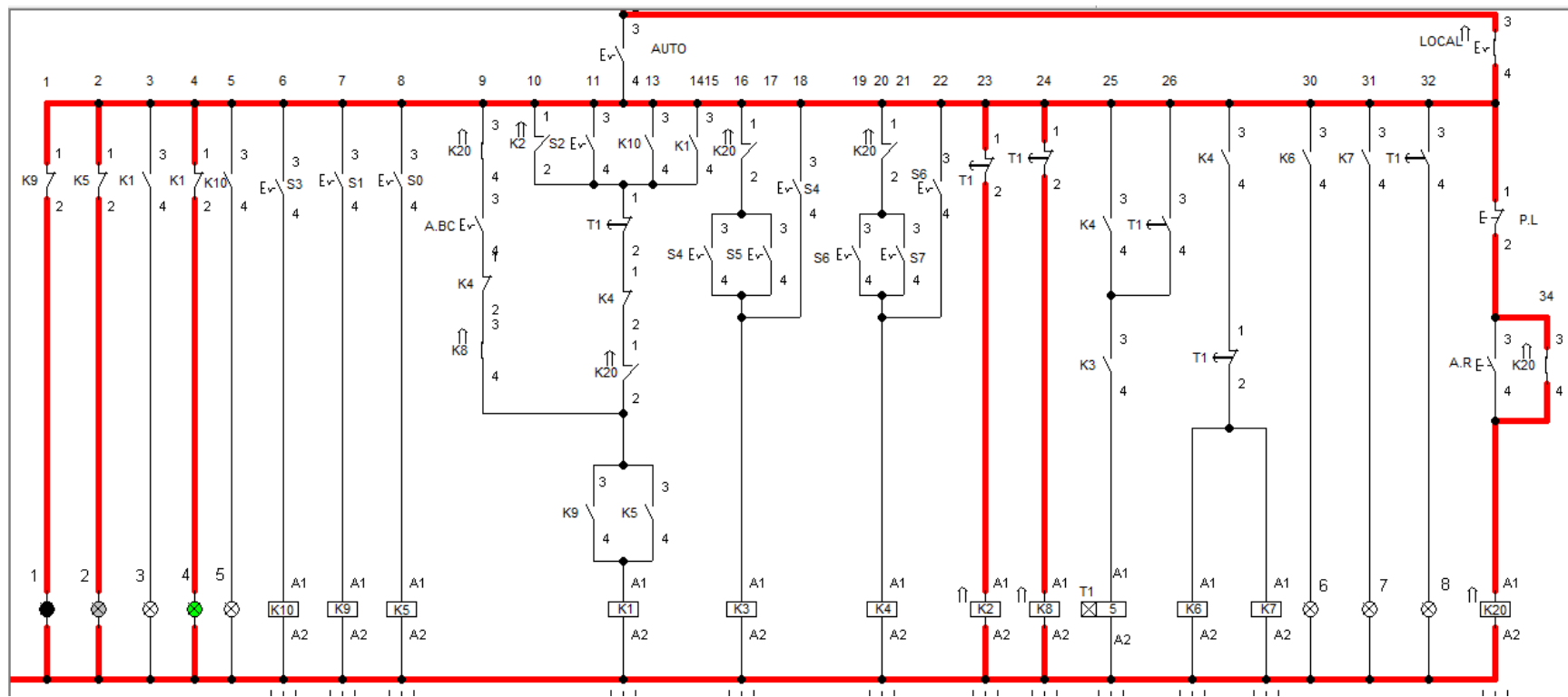


Con la evacuación del lixiviado de carbón ya tratado los sensores S7 y S6 vuelven a su posición de inicio y luego los sensores S5 y S4, con la desactivación de estos últimos se presenta la desactivación de la electroválvula v-1 y la activación de la bomba P-1. De esta manera se reinicia el proceso trabajando automáticamente el sistema.

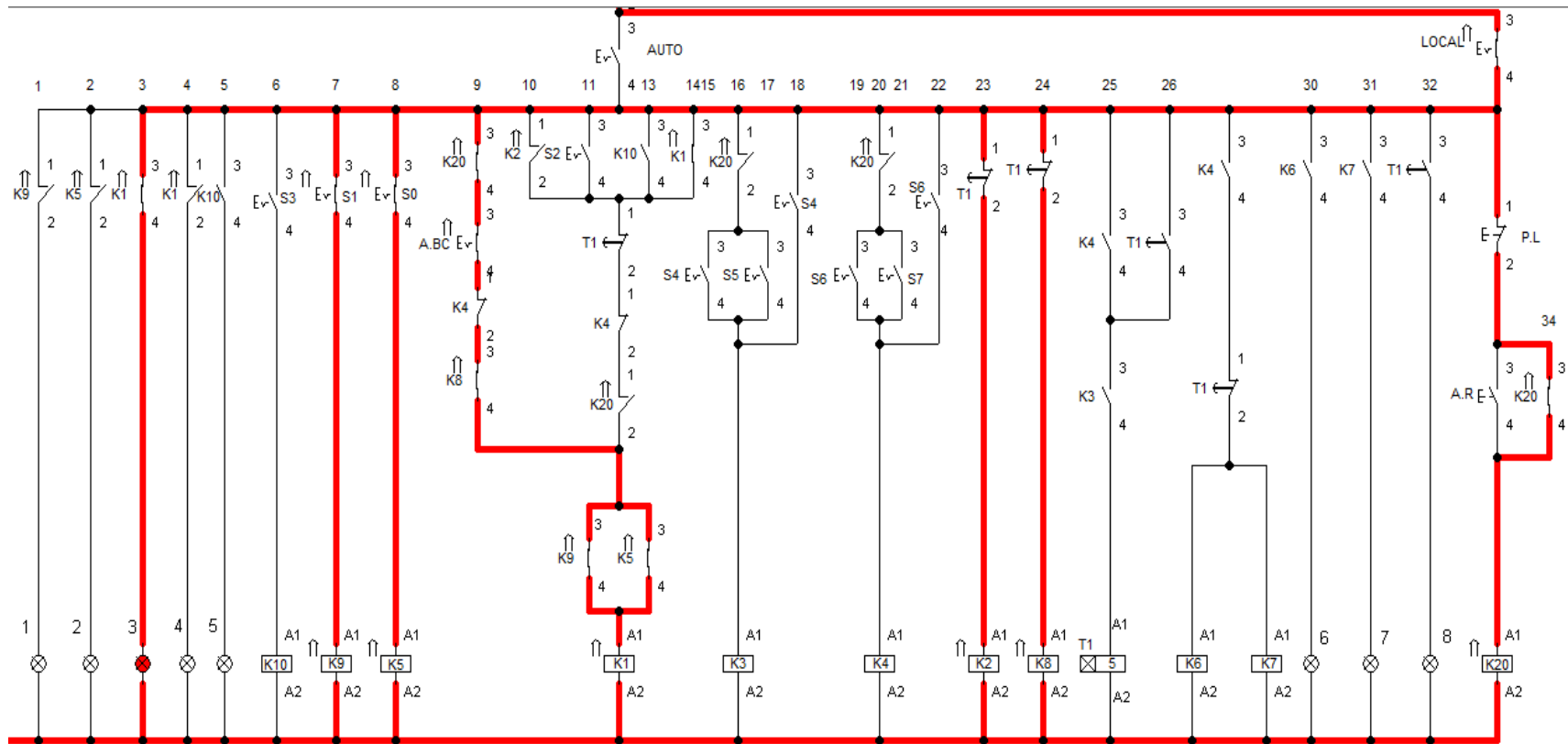


FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA MANUAL

Para iniciar el funcionamiento del sistema en control manual se debe pulsar el switch (LOCAL) Y el pulsador A.R con lo cual se desactiva el sistema en automático y se ajusta a un funcionamiento manual.



El arranque de la bomba P-1 se ejecuta mediante la activación del switch A.B.C



Para el funcionamiento del sistema en control manual se debe pulsar cada uno de los switches que representan cada sensor S0, S1, S2, S3, S4, S5, S6 y S7 en el mismo orden de operación del sistema en automático.