UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
VALPARAÍSO - CHILE

ESTUDIO Y PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE VISCOSIDAD EN LÍNEA PARA LA PREPARACIÓN Y ADICIÓN DE FLOCULANTE EN PLANTA CONCENTRADORA UJINA

SARA ANDREA PILAR VÁSQUEZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL ELECTRÓNICA

PROFESOR GUÍA	:	PROF. MANUEL OLIVARES SALINAS.
PROFESOR CORREFERENTE	:	PROF. IVÁN RIVERO FLORES.
SUPERVISOR 1	:	ING. RODRIGO DIAZ MUÑOZ.
SUPERVISOR 2	:	ING. GONZALO REYES MENESES.

MARZO 2024

EX UMBRA IN SOLEM

A mi familia . . .

Que todo lo vivido en el pasado sea motivo de sonrisas en el futuro.
Al final todo llega al lugar correcto.

EX UMBRA IN SOLEM

AGRADECIMIENTOS

Agradezco, en primera instancia, a Dios que ha sido conmigo a lo largo de esta etapa de la vida que tuvo tantos momentos difíciles. A mis padres por la paciencia y el ánimo que me entregaban cada vez que todo se volvía oscuro, pese a la distancia, se encargaron de acompañarme y alentarme para lograr mis metas. A Pilar, mi mejor amiga, que me escuchó y vivió conmigo las alegrías y las tristezas, siempre impulsandome a seguir cuando me encontraba estancada. A Jaser, que apareció en mi vida en el momento preciso para llenarla de alegrías y apoyarme en mis sueños. Y a Don Gonzalo Reyes, que me incluyó como una parte más del equipo, permitiéndome acompañarlo y aprender de todos los proyectos y procesos que el maneja en la planta, volviendo esta experiencia realmente enriquecedora para mi futuro profesional.

EX UMBRA IN SOLEM

RESUMEN

La Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, CMDIC, se dedica a la extracción y producción de concentrado de cobre y concentrado de molibdeno, situándose dentro de las seis principales productoras cupríferas del mundo y la segunda más grande de Chile. Dentro de sus operaciones cuenta con la mina rajo abierto Rosario y la Planta concentradora Ujina. Es en la planta donde se realiza el proceso de espesamiento de concentrado y de relaves, para los cuales se utiliza floculante (entre otras cosas), con el fin de que las partículas en suspensión presentes en un liquido se agrupen y sedimenten más fácilmente. Lo ideal es que el concentrado de cobre se envíe a puerto con un 65 % de solido y que el espesamiento de relave logre la mayor recuperación de agua posible, debido a la zona de escasez hídrica en la que se encuentra la compañía.

Actualmente, la compañía no cuenta con una medición en línea de viscosidad en la preparación de floculante madre, por lo que las tomas de muestra se realizan de forma manual y el análisis de ellas está a cargo del laboratorio, el cual envía las mediciones al operador para que calcule los datos y los entregue a DCS. Es por esto que se ve afectado el Ciclo de Gestión de Riesgo, al detectarse diversos factores de riesgos en el proceso de la preparación y adición de floculante. Esto ocasiona que los parámetros de este compuesto no estén en sus valores óptimos debido a la falta de un sensor en línea para la preparación y verificación del floculante, ya que no se tiene una retroalimentación rápida del proceso y se encuentra sometido al constante error humano. Por la problemática anterior, es que el principal objetivo de esta memoria consiste en **" Contribuir en la etapa de instalación y puesta en marcha de un sistema de medición de viscosidad adquirido por la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC) para mejorar la preparación y adición de floculante que va hacia los procesos de concentrado de cobre y de recuperación de agua en espesadores."**.

Para la realización del objetivo, se presentan los parámetros necesarios que requiere la compañía para la instalación de un medidor de viscosidad en línea. Además, se presenta un Estado del Arte donde se explica el concepto de viscosidad, otros instrumentos que se encuentran en el mercado y que son capaces de ayudar con las mediciones de viscosidad, se explica la separación solido-líquido por medio de floculantes, presentando diversos estudios y tesis que aportan al conocimiento de este fluido, junto con su preparación y el uso en la industria minera. Posteriormente, se presenta el proceso de preparación y adición de floculante en CMDIC con los diagramas P&ID desde el proceso de preparación hasta el envío a los espesadores. Para esto se utiliza norma ISA en la reconstrucción de los diagramas existentes y se añade lo correspondiente a la modificación realizada por el viscosímetro seleccionado.

Una vez explicado el proceso, se continua con el equipo escogido por CMDIC para integrarlo al proceso, este corresponde al **Viscometer VML In-Line de SNF**. Se explican las características del equipo, su funcionamiento, las características de Hw interno (con sus respectivos componentes), la instalaciones realizadas para la tubería, conexión de energía y comunicación desde al equipo hasta DCS, se explica el funcionamiento de su pantalla HMI y las mantenciones preventivas que se deben llevar a cabo cuando se utilice el equipo. El VML cuenta con un PLC Siemens S7 el cual tiene comunicación Modbus TCP, la cual se envía por fibra óptica hasta un controlador ABB AC 800M que esta conectado al sistema DCS de la planta. Para la integración a DCS, se presenta la conversión de los parámetros de decimal a hexadecimal que realiza el PLC a partir de la norma IEEE-754, como se separan y se guardan en los registros, a partir de los cuales el controlador los toma y los vuelve a su estado original en decimal.

Para finalizar, se presentan los resultados obtenidos tanto de forma local por medio del HMI que se encuentra en terreno, así como también los resultados obtenidos de forma remota en el DCS de la planta, con los cuales se realiza un análisis que demuestra el cumplimiento del objetivo principal.

Palabras Claves:

Viscosímetro, VML, SNF, Floculante, Medidor de viscosidad en línea, Gestión de Riesgos, Ciclo de Gestión de Riesgos, CGR, Minería del Cobre, CMDIC, Collahuasi, Floquip.

ABSTRACT

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, CMDIC, is dedicated to the extraction and production of copper concentrate and molybdenum concentrate, ranking among the six main copper producers in the world and the second largest in Chile. Its operations include the Rosario open pit mine and the Ujina concentrator plant. It is in the plant where the concentrate and tailings thickening process is carried out, for which flocculant is used (among other things), so that the suspended particles present in a liquid to group together and settle more easily. Ideally, the copper concentrate is sent to port with 65 % of solid and for the tailings thickening achieves the greatest possible water recovery, due to the area of water scarcity in which the company is located.

Currently, the company does not have an online viscosity measurement in the preparation of the mother flocculant, so samples are taken manually and their analysis is carried out by the laboratory, which sends the measurements to the operator to calculate the data and deliver it to DCS. This is why the Risk Management Cycle is affected, as various risk factors are detected in the process of preparing and adding flocculant. This causes the parameters of this compound to not be at their optimal values due to the lack of an online sensor for the preparation and verification of the flocculant, since there is no rapid feedback on the process and it is subject to constant human error. Due to the previous problem, the main objective of this report is to **" Contribute to the installation and start-up stage of a viscosity measurement system acquired by the Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC) to improve the preparation and addition of flocculant that goes towards the copper concentrate and water recovery processes in thickeners."**.

To achieve the objective, the necessary parameters required by the company for the installation of an online viscosity meter are presented. In addition, a State of the Art is presented where the concept of viscosity is explained, other instruments that are on the market and that are capable of helping with viscosity measurements, solid-liquid separation by means of flocculants are explained, presenting various studies and theses that contribute to the knowledge of this fluid, along with its preparation and use in the mining industry. Subsequently, the process of preparation and addition of flocculant is presented in CMDIC with the P&ID diagrams from the preparation process to shipment to the thickeners. For this, the ISA standard is used in the reconstruction of the existing ones and the corresponding modification made by the viscometer.

Once the process has been explained, we continue with the equipment chosen by CMDIC to integrate it into the process, this corresponds to the **SNF In-Line VML Viscometer**. The characteristics of the equipment are explained, its operation, the characteristics of the internal Hw (with its respective components), the installations made for the piping, power connection and communication from the equipment to the DCS, the operation of its HMI screen and the preventive maintenance that must be carried out when the equipment is used. The VML has a Siemens S7 PLC which has Modbus TCP communication, which is sent via fiber optics to an ABB AC 800M controller that is connected to the plant's DCS system. For the integration to DCS, the conversion of the parameters from decimal to hexadecimal carried out by the PLC based on the IEEE-754 standard is presented, how they are separated and saved in the registers, from which the controller takes them and returns them to their original decimal state.

Finally, the results obtained are presented both locally through the HMI that is in the field, as well as the results obtained remotely in the DCS of the plant, with which an analysis is carried out that demonstrates compliance with the main goal.

Keywords:

Viscometer, VML, SNF, Flocculant, Online Viscosity Meter, Risk Management, Risk Management Cycle, CGR, Copper Mining, CMDIC, Collahuasi, Floquip.

GLOSARIO

1. CMDIC: Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi.
2. ESED: Empresas externas contratadas por Collahuasi.
3. CGR: Ciclo de Gestión del Riesgo.
4. Ganga (Gangue): minerales sin valor económico y que acompañan a los que contienen los elementos metálicos que se recuperan en el proceso industrial. Son los minerales, generalmente silicatos, que forman la roca y su alteración (cuarzo, feldespatos, micas, arcillas, etc.), los que ocupan entre el 90 % y 95 % del volumen total de la roca.
5. GRT: Gestión de Riesgos en Terreno.
6. GCP: Gestión de Cambio al Proceso.
7. VATS: Verificación y Autorización del Trabajo Seguro.
8. PLC: Programmable Logic Controller, es decir, Controladores lógicos programables.
9. DCS: Distributed Control System, es decir, Sistema de Control Distribuido.
10. HMI: Human-Machine Interface, es decir, Interfaz Hombre-Máquina.
11. ISA: INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION.

Índice de Contenidos

1. Introducción **1**
1.1. Planta Concentradora Ujina . . . 2
1.1.1. Descripción del Problema . . . 6
1.1.2. Ciclo de Gestión de Riesgos . . . 6
1.1.3. Estrategia de de la Compañía . . . 8
1.2. Objetivos . . . 9
1.2.1. Objetivo Principal . . . 9
1.2.2. Objetivos Específicos . . . 9

2. Antecedentes Generales **10**
2.1. Requerimientos Funcionales . . . 10
2.2. Estado del Arte . . . 11
2.2.1. Viscosidad . . . 11
2.2.2. Instrumentos de Medición de Viscosidad . . . 11
2.2.3. Separación Sólido-Líquido . . . 13
2.2.4. Preparación de Floculantes . . . 15

3. Proceso de Preparación y Adición de floculantes en CMDIC **17**
3.1. Preparación de floculante madre y medición de viscosidad . . . 17
3.2. Dilución de floculante hacia los espesadores . . . 22

4. Equipo de medición de Viscosidad VML In-Line de SNF **25**
4.1. Características del Equipo . . . 25
4.2. Características Hw Interno del Equipo . . . 27
4.3. Instalación del equipo . . . 29
4.4. Funcionamiento . . . 32
4.5. Puesta en marcha del medidor de Viscosidad . . . 37
4.6. Mantención preventiva . . . 38

5. Arquitectura de conectividad con DCS **40**
5.1. Red de Comunicación . . . 40
5.2. Integración y procesamiento de datos . . . 40

6. Resultados **43**
6.1. Funcionamiento local . . . 43
6.2. Funcionamiento remoto . . . 46
6.3. Análisis de resultados . . . 47

7. Conclusiones **48**
7.1. Aportes y beneficios asociados . . . 48

7.2. Trabajo futuro 49

Bibliografía **50**

A. Anexos **52**
A.1. Diagramas P&ID 52
A.2. Cotizaciones 53
A.3. Tablas DCS 55
A.4. Esquemáticos VML 57
A.5. Indicador de Alarmas 57

Índice de Tablas

2.1. Parámetros asociados al proceso del floculante. 10

Índice de Figuras

1.1. Ubicación de la Cía. Minera Doña Inés de Collahuasi en la Región de Tarapacá. 1
1.2. Diagrama de Bloques del Proceso en CMDIC. 2
1.3. Diagrama de Flujos de Molienda. 3
1.4. Diagrama de Flujos de Flotación. 4
1.5. Diagrama de Flujos de Espesamiento de Concentrado. 5
1.6. Diagrama de Flujos de Espesamiento de Relaves. 5
1.7. Ciclo de Gestión del Riesgo. 7
1.8. Ciclo de Gestión del Riesgo para la implementación del Viscosímetro. 8
1.9. Focalización del proyecto en los tres principios de CMDIC. 9

2.1. Medidor de viscosidad SRV de Rheonics. 12
2.2. Medidor de viscosidad L-VIS de Anton Paar. 12
2.3. Proceso de sedimentación al utilizar floculantes [7]. 13
2.4. Diagrama de flujo de la preparación de floculante minera Los Pelambres [15]. 16

3.1. Diagrama del Proceso de Preparación de Floculante Madre. 18
3.2. P&ID proceso de adición de floculante en polvo y agua. 19
3.3. Acercamiento del P&ID del proceso de adición de floculante en polvo. 20
3.4. Acercamiento del P&ID de un estanque mezclador del proceso de adición de floculante. . 21
3.5. P&ID desde TK016 y 017 hacia los espesadores. 22
3.6. P&ID desde TK2601 hacia los espesadores. 23
3.7. P&ID del TK2601 con sus respectivos instrumentos. 24
3.8. Esquema del proceso de floculante madre y floculante diluido hacia los espesadores de relave. 24

4.1. Viscosímetro en Línea VML de SNF. 25
4.2. Esquema de Funcionamiento del Viscosímetro. 26
4.3. Interior del equipo VML en terreno. 27
4.4. Esquema interior del equipo VML. 28
4.5. Tablero de energía y control del VML. 29
4.6. Diagrama de las conexiones de energía y red a DCS. 30
4.7. Esquema básico de Instalación en terreno del VML. 31
4.8. Instalación de Tuberias para el funcionamiento del VML. 31
4.9. Equipo Encendido. 32
4.10. Pantalla Principal del Panel HMI del VML. 32
4.11. Panel de Viscosidad entregada por el VML en el HMI local. 33
4.12. Panel de Viscosidad para el calculo de los valores. 34
4.13. Panel de Viscosidad con las ecuaciones para la correción con temperatura. 34
4.14. Panel de Gráficas de Viscosidad y Concentración. 35
4.15. Panel de Reportes. 35

4.16. Pantalla de parámetros a configurar para el VML en el HMI. 36
4.17. Pantalla de parámetros máximos a configurar en el VML para las entradas y salidas. . . . 36
4.18. Panel de alarmas que entrega el VML. 37
4.19. Reserva de agua para el sello mecánico de la bomba. 38

5.1. Diagrama de Conexión a DCS. 40
5.2. Ejemplo de setpoint fijado en el Viscosímetro. 41
5.3. Ejemplo de registro del setpoint de flujo. 41
5.4. Ejemplo de gestión del protocolo Modbus TCP. 41
5.5. Ejemplo de setpoint en hexadecimal dentro del programa. 42
5.6. Ejemplo del setpoint hexadecimal que se analiza en los registros. 42

6.1. Funcionamiento del transmisor de flujo dentro del VML. 43
6.2. Funcionamiento del Viscosímetro VML de SNF en horario PM 44
6.3. Funcionamiento del Viscosímetro VML de SNF en horario AM 45
6.4. Funcionamiento remoto del Viscosímetro VML de SNF. 46

A.1. Cotización entregada por SNF y aceptada por CMDIC. 53
A.2. Primera parte de la cotización entregada por PRORED ZN y aceptada por CMDIC. . . . 54
A.3. Segunda parte de la cotización entregada por PRORED ZN y aceptada por CMDIC. . . . 54
A.4. Cotización entregada por Hintek y aceptada por CMDIC. 55

1. Introducción

La Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, CMDIC, se dedica a la extracción y producción de concentrado de cobre y concentrado de molibdeno, situándose dentro de las seis principales productoras cupríferas del mundo y la segunda más grande de Chile, contando con uno de los depósitos de cobre más grandes del planeta, con una capacidad de producción que en el año 2022 fue mayor a las 600.000 toneladas de cobre, por lo que contribuye significativamente a la economía del norte de Chile. Los accionistas son Anglo American plc (44 %), Glencore (44 %) y Japan Collahuasi Resources B.V. (12 %).

Sus principales instalaciones, como se puede observar en la Figura 1.1, se encuentran en el Área Cordillera ubicada a 130 Km de la comuna de Pica, Región de Tarapacá, que corresponde a una zona Altiplánica del Extremo Norte de Chile, a 4.400 m.s.n.m. Es aquí donde cuenta con dos yacimientos, Ujina y Rosario, siendo Ujina donde se encuentra la Planta Concentradora que recibe el mineral a ser tratado y Rosario el sector donde se encuentra la mina a rajo abierto. A su vez, desde la concentradora nace un sistema de mineroductos que tiene una extensión de 203 [Km], el cual transporta el concentrado de cobre hasta el Terminal Marítimo Collahuasi, que se encuentra ubicado 65 [Km] al sur de Iquique, en Punta Patache. Es en este terminal donde se tiene la Planta de Molibdeno, separando cobre y molibdeno para ser embarcados a los mercados internacionales.

Figura 1.1: Ubicación de la Cía. Minera Doña Inés de Collahuasi en la Región de Tarapacá.

CMDIC se compromete con prácticas mineras sostenibles y ha implementado varios programas ambientales y sociales para minimizar el impacto de sus operaciones en las comunidades y los ecosis-

temas de la zona. Siendo sumamente importante para la compañía, que los procesos se vuelvan lo más sustentable posible, por lo que la recuperación de agua en una zona de escacez hídrica, es una de las tareas primordiales.

1.1. Planta Concentradora Ujina

La Planta Concentradora Ujina, corresponde a la planta de procesamiento de mineral de cobre ubicada a 4.300 m.s.n.m y es donde se recibe el mineral extraído de las operaciones mineras y se produce el concentrado de cobre, contando con una capacidad de procesamiento de aproximadamente 140.000 toneladas de mineral por día. En la concentradora los procesos principales que se realizan son Molienda, Flotación y Espesamiento, contabilizando el proceso desde que el producto es enviado desde el chancador primario a molienda, con el fin de separar el mineral de cobre, tanto de la roca como de otros minerales, para posteriormente transportar el producto concentrado a Puerto. En la Figura 1.2 se puede observar el Diagrama de Bloques simplificado del Proceso de la Concentración en la operaciones de CMDIC, incluyendo los suministros e insumos del proceso.

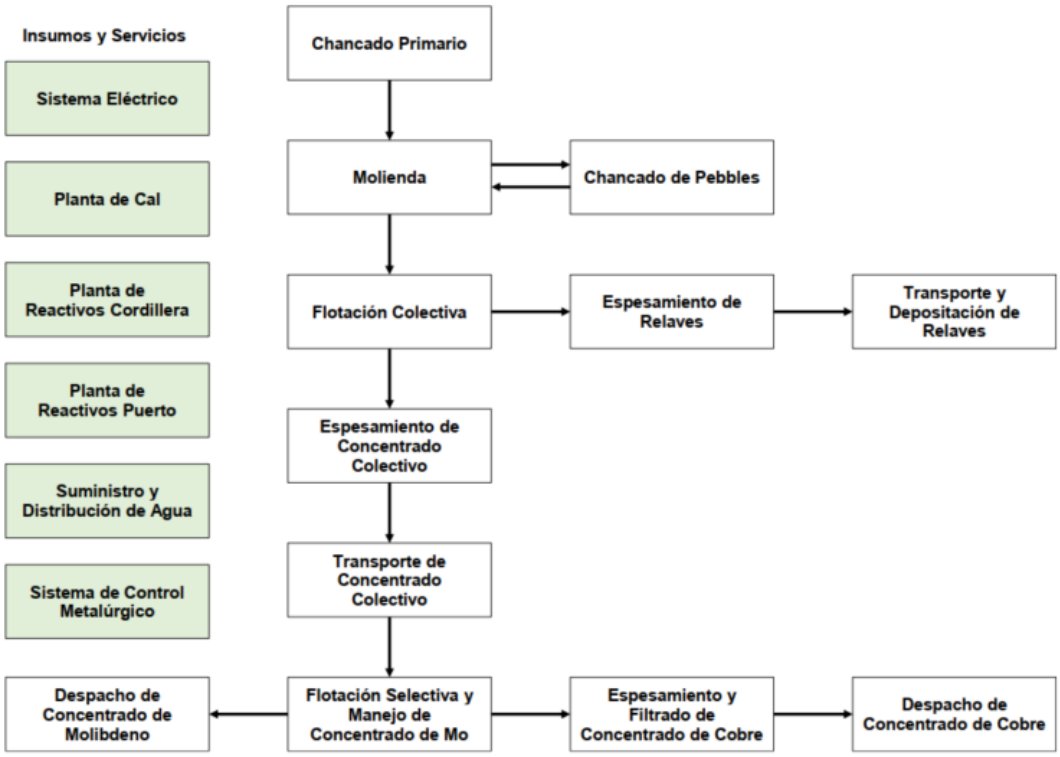


Figura 1.2: Diagrama de Bloques del Proceso en CMDIC.

A continuación se describiran brevemente los procesos principales desde que el material llega del chancador primario, el cual deposita el mineral en el Stock Pile.

- **Molienda:** Los fragmentos de mineral chancado se transportan a los molinos donde son sometidos a un proceso de molienda, con el fin de reducirlos aún más y liberar el mineral de cobre de la roca.

Las etapas de este proceso son la molienda primaria con molinos SAG, la molienda secundaria con molinos de bola, planta de lavado y chancado de pebbles y el transporte de pebbles chancados.

La planta cuenta en la actualidad con tres líneas de moliendas ubicadas en paralelo, como se observa en la Figura 1.3, la Línea 1 y Línea 2, correspondiente a los molinos SAG 1 y SAG 2, las cuales a continuación cuentan con un molino de bolas cada una, mantienen el 40 % de la producción entre ambas líneas, mientras que la Línea 3, donde se encuentra el molino SAG 1011, cuenta con dos molinos de bolas manteniendo el 60 % de la producción, siendo la más importante y recibiendo solo material fresco, no recibe pebbles chancados retornados al acopio como las otras líneas.

Cada línea cuenta con baterías de hidrociclones y los pebles que generan son enviados a la planta de lavado y chancado de pebbles para volver a retornar al acopio de mineral grueso. Además, existen conexiones que permiten la transferencia de pulpa entre las distintas líneas de molienda, desde la alimentación a hidrociclones hasta la alimentación de Molino de bolas de las otras líneas, las que operan de manera eventual, principalmente ante detenciones de los molinos de bolas.

Al final del proceso de molienda, el producto es conducido a la etapa de flotación colectiva.

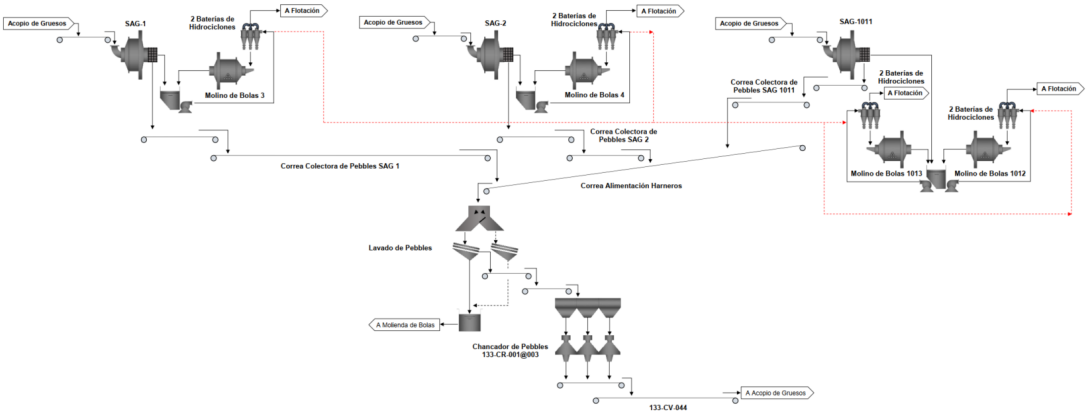


Figura 1.3: Diagrama de Flujos de Molienda.

- **Flotación:** Es una técnica de concentración de minerales en húmedo, en la que se aprovechan las propiedades físico-químicas superficiales de las partículas para efectuar la separación. Se trata de un proceso de separación de materias de distinto origen que se efectúa desde pulpas acuosas por medio de burbujas de gas y a base de sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas (mojabilidad). Esto se realiza con el fin de maximizar la Recuperación de sulfuros de Cobre y Molibdeno del resto de la ganga para producir un concentrado de calidad que esté dentro de los estándares de la empresa.

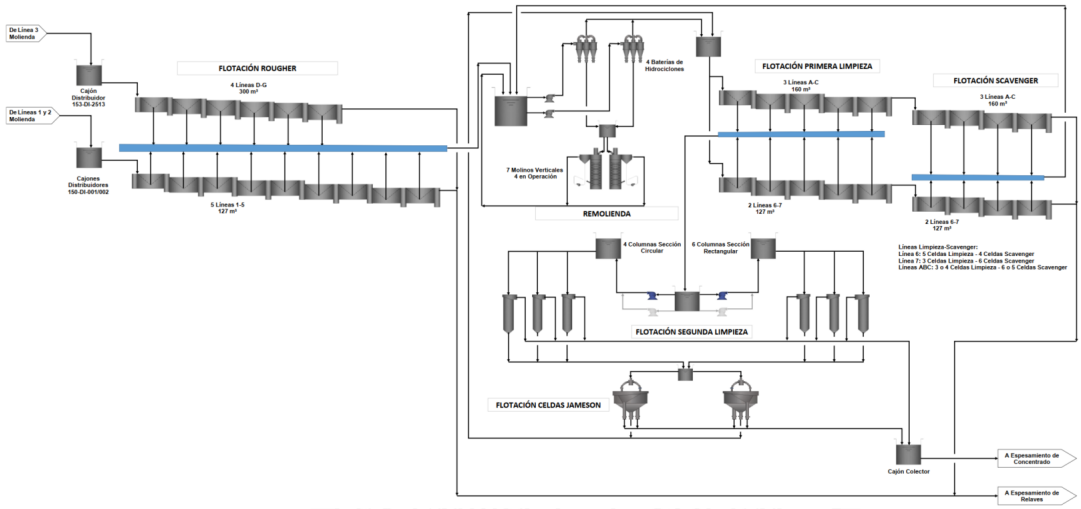


Figura 1.4: Diagrama de Flujos de Flotación.

En primera instancia, el mineral proveniente de la molienda se envía a la etapa de flotación Rougher, como se observa en la Figura 1.4, donde se logran altas recuperaciones y se elimina gran parte de la ganga, pero las leyes del concentrado obtenido son bajas y requieren una etapa remolienada y limpieza selectiva.

El circuito de primera limpieza-scavenger tiene como objetivo aumentar la recuperación de las especies útiles desde las colas de la etapa de limpieza primaria. Producen colas finales del proceso y un concentrado de baja ley que se junta al concentrado Rougher que va a la etapa de remolienda, mientras que los relaves son conducidos al sistema de espesamiento de relaves junto con el relave Rougher.

El circuito de limpieza primaria o Pre-cleaner, tienen como objetivo aumentar la ley de los concentrados Rougher, y el de limpieza secundaria o Cleaner tiene la finalidad de continuar concentrando y de disminuir impurezas, a fin de alcanzar un producto que cumpla con las exigencias del mercado, o bien, de la etapa del proceso siguiente a que será sometido el concentrado.

- **Espesamiento:** El concentrado de cobre y el material de relave obtenidos de flotación, se someten a un proceso de separación líquido-sólido donde se cuenta con dos espesadores de concentrado operativos, como se observa en la Figura 1.5, que se encargan de reducir el contenido de agua, mejorando el concentrado de cobre y facilitando su posterior manejo y transporte. Además, se cuenta con un espesador que se utiliza como clarificador, al que se le envía el agua de procesos recuperada, overflow de los espesadores de concentrado, para luego ser recirculada al proceso o devolverla, alternativamente, al cajón distribuidor que alimenta a los espesadores de concentrado. Este clarificador, eventualmente, puede operar como espesador de concentrado.

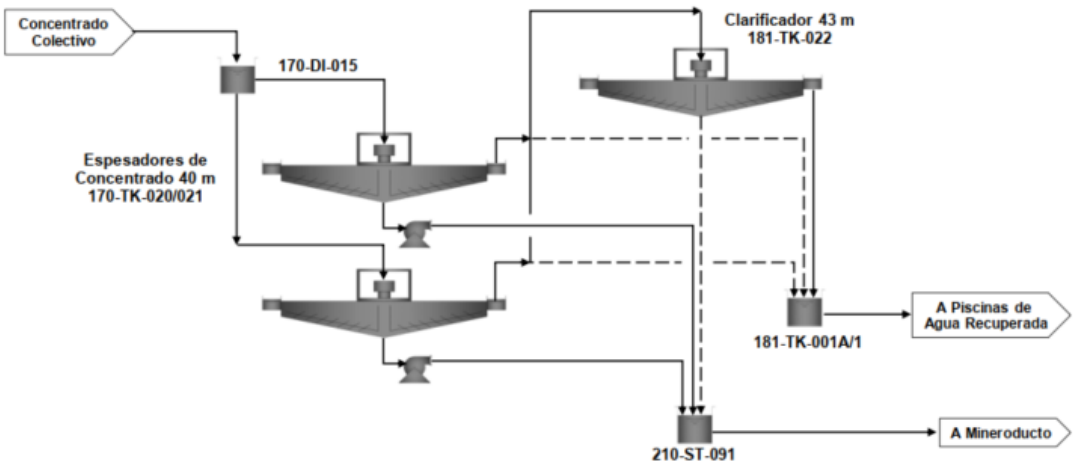


Figura 1.5: Diagrama de Flujos de Espesamiento de Concentrado.

A su vez, se cuenta con tres espesadores de relaves operativos (HRT 2001, HRT 3001 y HRT 4001) que tienen como finalidad recuperar la mayor cantidad de agua posible para poder reincorporarla en el proceso, como se observa en la Figura 1.6. Adicionalmente, el sistema posee instalados los espesadores del proyecto original de Collahuasi consistente en tres espesadores convencionales (fuera de servicio) y dos de operación eventual (DOE). La descarga de los espesadores converge a un cajón de colección de relaves, para el posterior transporte. Por otro lado, el rebose de los espesadores es enviado a la piscina de agua recuperada.

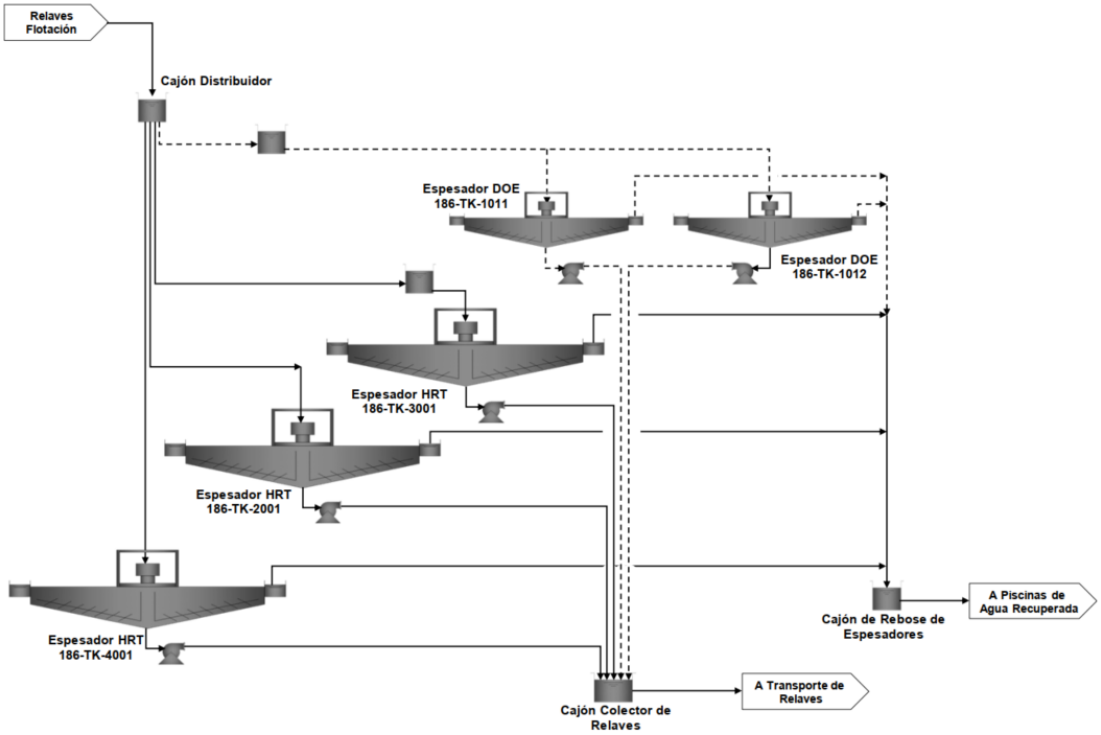


Figura 1.6: Diagrama de Flujos de Espesamiento de Relaves.

Una vez obtenido el concentrado de cobre, sin exceso de agua, este pasa por un proceso de secado para finalmente ser transportado a través de dos mineroductos, de 7" y 8", al Terminal Marítimo Collahuasi ubicado en Punta Patache, donde se realizan nuevos procesos para separar el concentrado de cobre del concentrado de molibdeno.

1.1.1. Descripción del Problema

El proceso de Espesamiento de Concentrado tiene como finalidad obtener concentrado de cobre según los parámetros metalúrgicos necesarios para ser enviado a puerto. Este consiste en una etapa de separación de sólido-líquido donde se espera tener un 65 % de sólido, de modo que se envíe una concentración de cobre con la mínima cantidad de líquido en ella. A su vez, el proceso de Espesamiento de Relave consiste en lograr la recuperación de la mayor cantidad posible de agua de proceso al separar los sólidos, que son descartados de las operaciones, del líquido. Una de las formas para lograr la sedimentación, es utilizar floculantes, que corresponden a un compuesto químico que se añade con el fin de ayudar a que se formen puentes o uniones entre partículas, lo que crea una partícula de mayor tamaño que se sedimenta más rápido, acelerando el proceso de separación sólido y líquido.

Actualmente, el agua es un recurso escaso en la región de Tarapacá, donde se encuentra ubicada la Planta Concentradora Ujina perteneciente a la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC), y es un recurso fundamental para cada una de sus operaciones, por lo que se necesita mejorar cada etapa del proceso que ayude a maximizar la reutilización del agua. A su vez, el concentrado de cobre debe almacenarse con la menor cantidad de agua en él, antes de ser enviado a puerto, por lo que la utilización de floculante de forma adecuada es fundamental. Sin embargo, no se cuenta con una medición en línea de viscosidad en la adición de floculante hacia los espesadores, por lo que las tomas de muestra se realizan de forma manual y el análisis de ellas esta a cargo del laboratorio, el cual envía las mediciones al operador para que calcule los datos y los entregue a DCS. Es por esto que se ve afectado el Ciclo de Gestión de Riesgo con el que la compañía maneja cada una de sus actividades, al detectarse diversos factores de Riesgos en el proceso de la preparación y adición de floculante. Esto ocasiona que los parámetros de este compuesto no estén en sus valores óptimos debido a la falta de un sensor en línea para la preparación y verificación del floculante, por ende, no se tiene una retroalimentación rápida del proceso.

La preparación del floculante madre debe estar dentro de los parámetros establecidos por el personal de metalurgia, puesto que este compuesto es fundamental en el proceso de recuperación de agua y de concentrado de cobre, como se menciona anteriormente. Sin embargo, debido a la falta de un sensor de viscosidad en línea, no se logra detectar a tiempo si la preparación es adecuada o si hay algún problema en el proceso. A su vez, los estanques de almacenamiento de floculante madre se encuentran en un sector de riesgo y alta incidentabilidad.

Por lo mencionado anteriormente, es fundamental tener una medición constante y en línea de la viscosidad del floculante para el proceso de la Concentradora Ujina, por ende, se implementa un Viscosímetro que ayuda a solucionar estos problemas y mejorar la preparación de floculantes, lo cual implica una ayuda para mejorar el proceso de espesamiento.

1.1.2. Ciclo de Gestión de Riesgos

Collahuasi es una de las mineras chilenas con resultados más destacados en términos de seguridad, productividad y costos. Con el fin de optimizar los procesos y evitar incidentabilidad, la compañía aplica en cada una de sus operaciones el modelo de gestión correspondiente al Ciclo de Gestión del Riesgo

(CGR), que se puede observar en la Figura 1.7, el cual consiste en el conjunto de acciones, técnicas y procedimientos que tienen por objetivo eliminar o disminuir el riesgo de producir accidentes de trabajo, basándose en el ciclo de Deming, el que se adapta para satisfacer las necesidades de la compañía.

Figura 1.7: Ciclo de Gestión del Riesgo.

De la figura anterior, se puede ver que el CGR consta de 3 etapas:

1. Planificación:
   - Mapa del proceso: Es la representación gráfica de un diagrama de valor, donde se identifican los procesos, sub-procesos y actividades, con sus respectivas entradas y salidas. Permite conocer a fondo cada uno de los procedimientos a realizar.
   - Matriz de Riesgos: Permite identificar los principales focos de dispersión, aquellos que ponen en riesgo la promesa de negocios de la compañía.
   - Planes de Mitigación y Control: Permite formular planes de mitigación y control de los riesgos identificados.
2. Ejecución:
   - Procedimiento de trabajo: Es el qué y cómo debe considerar un trabajador realizar las actividades y tareas que las componen, con especial énfasis en la aplicación de los controles antes definidos. Desde esta etapa nacen los procedimientos e instructivos de trabajo, cada actividad definida en los procesos debe contar con esta herramienta.
3. Verificación:
   - Verificación y Autorización: Etapa en la cual se verifica que los controles establecidos en la etapa de Planificación permitan la ejecución de la actividad con los riesgos controlados. Aquí nace la herramienta VATS, que significa “Verificación y Autorización de Trabajo Seguro".
4. Conocimiento / Aprendizaje y Comunicación:
   - Investigación: Esta última etapa reconoce y refuerza el aprendizaje continuo. Provee información necesaria para identificar brechas de cambio o mejora en los procesos.

El presente proyecto se construye a partir del Ciclo de Gestión de Riesgos, como se observa en la Figura 1.8, puesto que en la etapa de conocimiento y aprendizaje, se observa una pérdida de recuperación de agua por adición deficiente de floculante. Pasando a la etapa de planificación donde se define una preparación de floculante deficiente y una excesiva exposición del personal al realizar las tomas de muestras de floculante, por lo que se decide implementar la medición en línea transformando este proceso con tecnologías de la Industria 4.0.

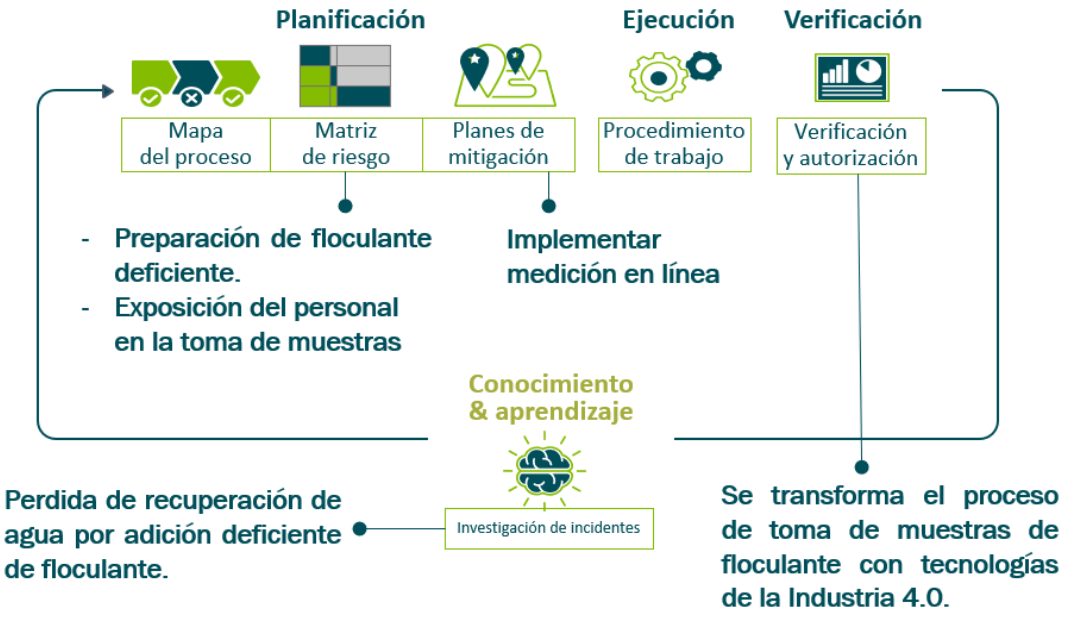


Figura 1.8: Ciclo de Gestión del Riesgo para la implementación del Viscosímetro.

1.1.3. Estrategia de de la Compañía

Actualmente, CMDIC cuenta con una estrategia de transformación digital que tiene como finalidad llegar a un Algoritmo Maestro, disminuyendo riesgos y aumentando la productividad. Para lograr esto, es que se focaliza en tres principios, que resumidamente corresponden a:

- **Simpleza**: en mantenciones, operaciones y procesos.
- **Disciplina**: en las distintas áreas y departamentos.
- **Alineamiento**: con la estrategia de sustentabilidad.

Por lo que, cada proceso y procedimientos realizados deben estar alineados con la estrategia y construirse a partir del ciclo de gestión de riesgos, con el fin de lograr la transformación digital a partir de la implementación de nuevas tecnologías de la industria 4.0, automatización de nuevos procesos, data lake, etc. Es aquí donde el presente proyecto cumple un rol fundamental para la compañía, como se observa en la Figura 1.9.

Figura 1.9: Focalización del proyecto en los tres principios de CMDIC.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Principal

Contribuir en la etapa de instalación y puesta en marcha de un sistema de medición de viscosidad adquirido por la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (CMDIC) para mejorar la preparación y adición de floculante que va hacia los procesos de concentrado de cobre y de recuperación de agua en espesadores.

1.2.2. Objetivos Específicos

Para lograr la realización del proyecto , se tienen los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar el sistema de medición VML In-Line Viscometer de SNF, su principio de operación, y el proceso de preparación del floculante madre y de adición del floculante diluido
- Colaborar en tareas de instalación, puesta en marcha y calibración del sistema de medición
- Colaborar en la integración del sistema de medición al DCS existente en CMDIC
- Elaborar documentos de proceso, operación, mantenimiento e integración del sistema de medición

2. Antecedentes Generales

2.1. Requerimientos Funcionales

El objetivo de la presente memoria es contribuir en la etapa de instalación y puesta en marcha de un sistema de medición de viscosidad en la planta concentradora Ujina, por lo que para la realización de este proceso se debe tener en cuenta los requerimientos necesarios que debe satisfacer el instrumento de medición de viscosidad, estos van desde los parámetros del proceso hasta parámetros medio ambientales y de comunicación. Además, se debe considerar que la instalación es en el área de reactivos que se encuentra entre los procesos de flotación y espesamiento por lo que cada procedimiento a realizar debe adecuarse al CGR.

Los parámetros de proceso que se consideran, van asociados al floculante madre y su transporte hacia los estanques de almacenamiento, por lo que se tienen rangos para la concentración, viscosidad, temperatura y presión. Estos valores se pueden observar en la Tabla 2.1, donde el floculante con el que se trabaja corresponde al SNF 604, el que, para realizar un proceso óptimo, debe tener una concentración de 3,5 [g/l] (o lo más cercana a este valor), con esta concentración la viscosidad tiene un valor aproximado de 73,2 [cP], a su vez, la temperatura óptima del fluido ronda los 16 [°C] y la presión del fluido que pasa por la tubería que desemboca en el estanque de almacenamiento es de 100 [Psi] (app. 6895 [mBar]), esta tubería transporta fluido cada 3 horas como mínimo.

Concentración g/l	Viscosidad cP	Temperatura °C	Presión Psi
3,5	73,2	16	100

Tabla 2.1: Parámetros asociados al proceso del floculante.

El parámetro ambiental mas significativo es el rango de temperaturas a las que se expondrá el dispositivo, el cual varía aproximadamente desde los -10 °C hasta los 25 °C. Sin embargo, pese a que el equipo se encuentra en un galpón abierto, al momento de instalar tuberías y el equipo en sí, se dispone de aislaciones para proteger el instrumento y los fluidos del congelamiento, por lo tanto, si bien lo mejor sería un equipo capaz de soportar temperaturas más extremas, se puede proteger el instrumento para que opere en los rangos de temperaturas que es capaz de soportar. Otro punto a analizar, dentro de lo que son las condiciones en las que se debe instalar el viscosímetro, es que las muestras se tomarán desde una tubería que no posee un fácil acceso para el personal, por ende el equipo debe contar con un HMI que se pueda instalar en algún lugar seguro y al alcance de los operadores en caso de necesitar realizar configuraciones locales.

Finalmente, dentro de los requisitos de comunicación, se espera que el dispositivo VML sea capaz de entregar los valores a DCS y se comunique por los protocolos de comunicación Profibus o Modbus TCP/IP. Esto se debe a que las señales llegarán a un controlador ABB AC 800M, el cual cuenta con módulos para recibir estos dos tipos de protocolos, ya que se encuentra instalado y operativo con otros instrumentos, es decir, no se dispondrá de un controlador nuevo ya que se dispone de espacio en uno que se encuentra en uso. Además, la empresa cuenta con contratos de mantención con la empresa Siemens, por ende el VML in-Line Viscometer de SNF tiene integrado un PLC Siemens.

2.2. Estado del Arte

En la presente Sección, se presenta información relevante correspondiente al proyecto, la cual se obtiene de diversas bibliografías.

2.2.1. Viscosidad

La viscosidad es una medida de la resistencia de un fluido a fluir, esto se debe a la fricción interna entre las moléculas del fluido. Al tener una alta viscosidad, el fluido tiene una consistencia más espesa y es más resistente al flujo, de forma contraria, al tener una baja viscosidad el fluido es menos espeso y con menor resistencia al flujo. Esta medida es sensible a factores como la temperatura, presión y concentración del soluto. Su unidad de medida en el sistema internacional (SI) es el Pascal por segundo ($Pa \cdot s$), aunque también se utiliza el centipoise (cP). Este parámetro es muy importante en la industria minera para controlar la eficiencia de los floculantes.

Existen ciertos polímeros que por su composición, no es posible medir su concentración directamente, como es el caso de los floculantes. En la segunda edición del libro [2] titulado **Fenómenos de Transporte (Transport Phenomena) de R.B.Bird, W.E.Stewart y E.N Lightfoot**, se rescata que en ciertos casos es posible obtener la concentración a partir de la viscosidad, por lo que para el caso del floculante, a partir de curvas metalúrgicas correspondiente al producto que se esta midiendo, es posible obtener la concentración si se mide el parámetro de viscosidad. Además, en este texto se señala que la viscosidad de algunos compuestos varía dependiendo de la temperatura y de la presión, entre otros parámetros.

2.2.2. Instrumentos de Medición de Viscosidad

En el mercado, se pueden encontrar diversos instrumentos que permiten medir viscosidad en línea, por lo que se analizan los más adecuados al considerar los requerimientos, sin mencionar en esta sección el equipo escogido para utilizar en la compañía, puesto que este se describe en el Capítulo 3.

Rheonics ofrece SRV (Figura 2.1), un dispositivo de medición de viscosidad en línea de amplio rango con medición de temperatura de fluido incorporada y es capaz de detectar cambios de viscosidad dentro de cualquier flujo de proceso en tiempo real. Una de sus ventajas es el factor de forma compacto, sin partes móviles y que no requiere mantenimiento, a diferencia del FLOQUIP VML, además posee rangos de presión hasta 5000 psi (137,895 Bar), de temperaturas desde -40 hasta 200°C y de viscosidad entre 0.5 cP hasta 50,000 cP. [3–4]

Figura 2.1: Medidor de viscosidad SRV de Rheonics.

Otro ejemplo de viscosímetro es In-Line Viscometer 372 Flow Through Sensor [5], el cual entrega seguimiento continuo de la temperatura y la viscosidad para aplicaciones de laboratorio y procesos, se basa en un concepto electromagnético simple y fiable. Dos bobinas mueven un pistón de un lado a otro magnéticamente con una fuerza constante. El circuito patentado analiza el tiempo de viaje bidireccional del pistón para medir la viscosidad absoluta. Un deflector, colocado sobre el pistón, mueve el fluido hacia la cámara de medición. Esta función, junto con el movimiento constante del pistón, mantiene la muestra fresca y limpia mecánicamente en la cámara. Un detector de temperatura incorporado (RTD) detecta la temperatura real en la cámara de medición.

El Viscosimetro en linea L-VIS 520 Ex de Anton Paar (Figura 2.2) [6], muestra continuamente la viscosidad y la temperatura de productos petroquímicos, tintas, petróleo crudo, recubrimientos y muchos más líquidos de proceso. Es ideal para monitorear suspensiones y emulsiones y está certificado para uso en áreas peligrosas. Posee diversas posibilidades de comunicación con mPDS 5 y Remote Operating Terminal (ROT), entrada/salida digital/analógica, PROFIBUS DP, PROFINET IO, EtherNet/IP, Modbus TCP, DeviceNet.

Figura 2.2: Medidor de viscosidad L-VIS de Anton Paar.

Si bien los instrumentos descritos son buenas opciones, ninguno de ellos tiene en sus especificaciones el uso de floculante, el cual es un fluido bastante complicado de manejar, puesto que tiende a endurecerse si el equipo no esta en uso constantemente, por lo que sus mantenciones pueden llegar a ser

más complicadas. Los instrumentos SRV de Rheonics y L-VIS de Anton Paar, son similares entre si, ya que son sensores que se instalan directamente en la tubería, cuenta con pantalla que entrega los valores medidos, pueden comunicarse con PLC o un sistema DCS y cuentan con diversas formas de comunicación (Modbus TCP/IP, EtherNet/IP, etc), mientras que el vicosímetro de SNF cuenta solo con comunicación Modbus TCP/IP pero viene con su respectivo PLC integrado y cuenta con una pantalla HMI en su panel de control, con el fin de que se pueda trabajar de forma local y configurar diversos parámetros, siendo un instrumento mucho más avanzado para el tratamiento del fluido. El VML In-Line de SNF no se instala directamente en la tubería, tiene una entrada y una salida que irán a la tubería principal con el fin de que el fluido pase por su circuito interno para realizar las mediciones y es posible ubicarlo en un lugar de fácil acceso para las mantenciones a diferencia de los otros. El funcionamiento de cada instrumento y las comparaciones entre ellos, se pueden ver más detalladamente en los informes [8] y [9], correspondientes a la asignatura ELO307.

2.2.3. Separación Sólido-Líquido

El floculante es una sustancia química que se utiliza para hacer que las partículas en suspensión en un liquido se agrupen y sedimenten más fácilmente. En la Industria minera, los floculantes se utilizan en la sedimentación y separación del mineral y la recuperación de agua, esto se logra al formar flóculos que se unen a las partículas más finas del mineral o del relave, las cuales se vuelven más pesadas y caen al fondo del espesador, dejando el líquido en la parte superior, como se observa en la Figura 2.3, de esta forma se contribuye a una operación minera más eficiente y sostenible.

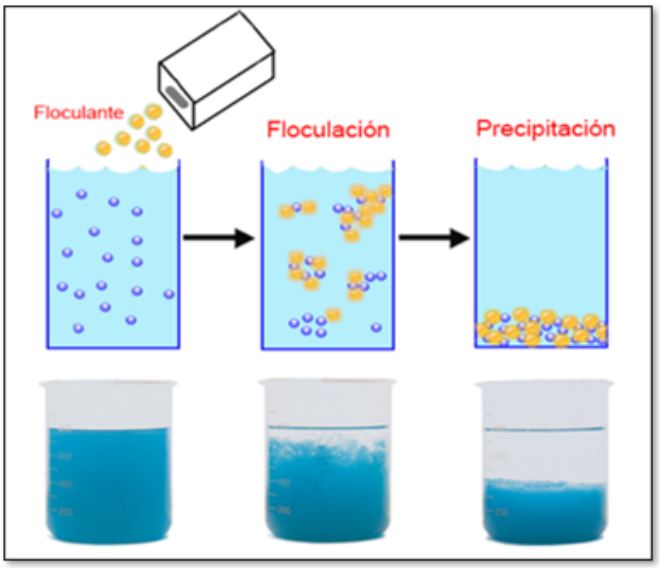


Figura 2.3: Proceso de sedimentación al utilizar floculantes [7].

La medición de la concentración de un floculante no se puede realizar directamente debido a la composición de este polimero. Algunas razones de esto son las siguientes:

- **Estructura Molecular Variable**:

  Los floculantes suelen ser polímeros con estructuras moleculares variables. Pueden tener unidades repetitivas de monómeros, pero la longitud de la cadena, la ramificación y otras características pueden variar, lo que dificulta la correlación directa entre la composición química y la concentración.

- **Distribución de Peso Molecular:**

  La distribución de peso molecular de los floculantes puede ser amplia, lo que significa que hay cadenas de diferentes longitudes en la muestra. La composición química por sí sola no proporciona información completa sobre la distribución de peso molecular y, por lo tanto, la concentración no se puede deducir de manera directa.

- **Interacción con el Medio:**

  La efectividad del floculante puede depender de su interacción con el medio circundante, como el agua en el caso de aplicaciones de tratamiento de aguas. Esta interacción puede afectar las propiedades del floculante y, por lo tanto, la relación entre la composición química y la concentración puede no ser lineal.

- **Modificaciones Post-Síntesis:**

  En algunas aplicaciones, los floculantes pueden someterse a modificaciones posteriores a la síntesis, como la adición de agentes reticulantes o la modificación de grupos funcionales. Estas modificaciones pueden afectar las propiedades del floculante y complicar la determinación de la concentración basada únicamente en la composición.

En lugar de depender solo de la composición química, la concentración de floculantes suele medirse utilizando técnicas analíticas específicas, como es el caso de la viscosidad, que se mencionó anteriormente, esta puede ser utilizada como un indicador indirecto de la concentración. También, en muchos casos, se utilizan métodos instrumentales más avanzados como cromatografía de permeación en gel (GPC) o técnicas espectroscópicas para caracterizar la concentración y la estructura del floculante de manera más precisa.

En la Industría Minera, según el estudio [10] titulado **"Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre (2021)"** y realizado por la Comisión Chilena del Cobre, SNF y Basf son los principales fabricantes de floculantes que abastecen a la minería local, donde Rheomax 1050 de Basf es la marca de floculante que presenta la mayor valoración en términos de dólares CIF, con un 47 % del valor total de las importaciones del periodo, siendo un floculante no convencional o reológico. Le siguen en participación una serie de reactivos fabricados por Snf, entre los cuales también destacan los floculantes no convencionales, tales como SNF 604, 703, 704 y 705.

Para definir el floculante, según el archivo [11] titulado **"Cómo Maximizar la Recuperación de Agua en los Espesadores de Relaves"** se debe seleccionar el que tenga exactamente la carga opuesta al mineral, de lo contrario NO se generará el proceso de floculación. Ejemplo, si el mineral tiene 15 % de carga positiva , el floculante debe tener una carga negativa también del 15 %. En CMDIC se utiliza el floculante **SNF 604**, el cual se encuentra en 6to lugar a nivel nacional y es un floculante Reológico. En el texto se indica que los floculantes Reológicos de SNF permiten reducir el torque del espesador, aumentar el bombeo, incrementar el Cp de descarga (% sólido de descarga), y uso de menor consumo de floculante.

En el caso de **Basf**, según lo indicado en su página web [12], se comercializa floculantes de alto rendimiento, los cuales también corresponden a no Convencional, siendo Rheomax DR de los más utilizados. Este se caracteriza por ser de una gama avanzada de ayudas químicas para procesos de separación de sólidos y líquidos basados en la gravedad, que ofrece un rendimiento de floculación superior en comparación con los floculantes de referencia convencionales. Rheomax DR es efectivo para muchos tipos diferentes de minerales, creando agregados más robustos. La estructura de partículas floculadas mejora las características de compresión y deshidratación para dar densidades de subdesbordamiento

sustancialmente más altas sin comprometer el límite elástico.

En la tesis [13], titulada **“Optimización en la recuperación de agua de relaves de Minerales Concentrados a través de un Espesador en Pasta en una Planta Concentradora de Minerales"**, se señala que es imposible la predicción teórica de cuál floculante es el más adecuado, siendo la selección un proceso empírico basado en la experiencia. El criterio de selección de floculante óptimo se basa en la determinación de la velocidad de sedimentación, siendo el óptimo aquel que presente la velocidad más alta. De forma similar, en el texto, la determinación de la dosificación óptima de floculante se basa en la velocidad de sedimentación de una muestra representativa de pulpa, con el fin de encontrar la dosificación mínima que entregue los mejores resultados operativos sin afectar los costos de operación. A su vez, se pueden visualizar los efectos sobre la tasa de sedimentación al variar la dosis de floculante y el porcentaje de sólidos en la alimentación.

En el archivo [14], titulado **“Control Automático de Dosificación de Floculantes y Reactivos"**, se puede ver un dispositivo que controla la dosificación de floculante a partir del control en la bomba dosificadora, tomando muestras del material que va hacia los espesadores y a partir de los parámetros ajustados va controlando la velocidad de la bomba, dando el rendimiento seleccionado según las necesidades o preferencias de la planta.

Para mejorar la separación sólido-líquido en una suspensión acuosa, además de utilizar floculantes se realiza la coagulación, la cual consiste en desestabilizar los coloides por neutralización de sus cargas, dando lugar a la formación de un flóculo o precipitado. La coagulación de partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante. En el mercado se encuentran coagulantes inorgánicos, como sales de aluminio, sales de hierro, bentonita, cal, entre otros, y coagulantes orgánicos, como DADMACs, poliaminas, éster de poliacrilato, resinas de formaldehído-amina.

2.2.4. Preparación de Floculantes

En el documento [15] titulado **“Aumento de Porcentaje de Sólido de Descargade los Espesadores de Relave a través de la Metodología Full Potencial en Minera Los Pelambres"**, se puede vizualizar el proceso de la Planta de Floculante de la Minera los Pelambres, el cual se observa en la Figura 2.4, donde se indica que la etapa de preparación de floculante es manual.

El ciclo de preparación se inicia con un llenado rápido de agua hasta alcanzar un nivel sobre las paletas del agitador. Luego, se detiene el llenado rápido y se inicia la preparación de la mezcla del polvo seco con agua en el humectador, con la respectiva activación del tornillo, hasta alcanzar la carga de floculante suficiente por batch. Un minuto después de iniciar el ingreso de polvo humectado, se abre la válvula de llenado rápido hasta alcanzar el nivel alto, tiempo que dura aproximadamente 40 minutos. Una vez que se termina el proceso de mezcla de polvo con agua y se ha alcanzado el nivel alto en el estanque, se inicia la etapa denominada de humectación, durante la cual se mantiene encendido el agitador y tiene una duración aproximada de 60-120 minutos. Durante el período de humectación se logra alcanzar una preparación completa del floculante, obteniendo una mezcla homogénea a la concentración recomendada de 3 g/L para su almacenamiento, que posteriormente será diluida a 0,2 g/L para su adición en el espesador de relaves.

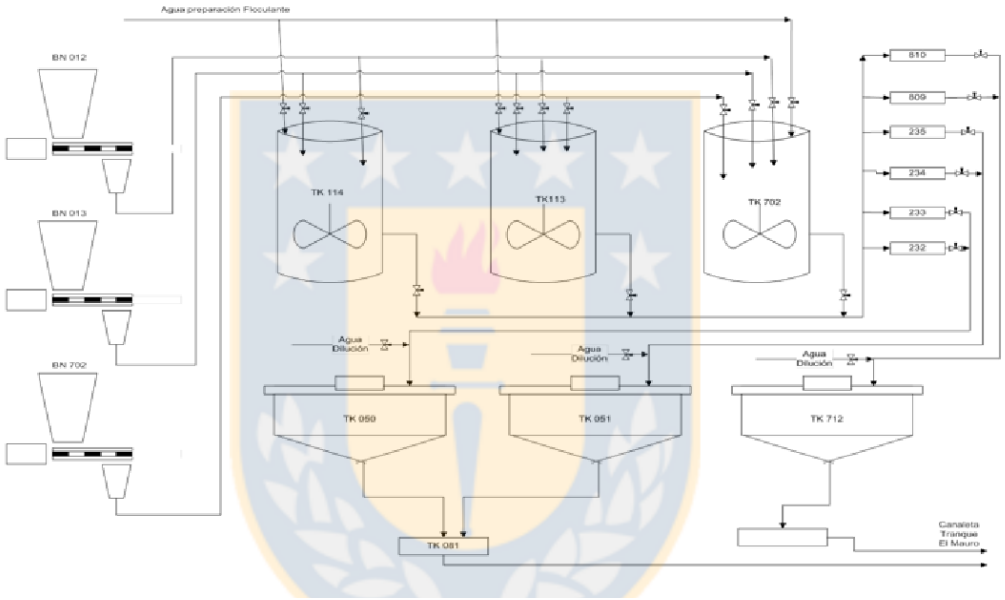


Figura 2.4: Diagrama de flujo de la preparación de floculante minera Los Pelambres [15].

Una vez terminada la preparación del floculante en el estanque de mezcla, se inicia la transferencia hacia el estanque de almacenamiento o dosificación, ya en este lugar se dispone de floculante en el estanque de almacenamiento y se inicia la etapa de dosificación de acuerdo con los requerimientos de la planta. Para ello, existen las bombas de dosificación, diseñada para alimentar los espesadores de cobre y de relaves. Cada bomba dispone de su respectivo motor eléctrico con variadores de frecuencia, que permite ajustar el flujo de floculante alimentado dependiendo de las condiciones de operación. Finalmente, y antes de ser ingresado al espesador de relaves, el flujo suministrado por las bombas de distribución es diluido mediante la adición de agua en un mezclador en línea, que permite alcanzar una concentración de floculante de 0,02 g/L. La adición de agua en este mezclador se lleva a cabo de forma automática mediante un lazo de control independiente, que ajusta el flujo de agua ingresado de acuerdo con el flujo distribuido por las bombas.

3. Proceso de Preparación y Adición de floculantes en CMDIC

La compañía cuenta con un proceso de preparación de floculante el cual se almacena como floculante madre y cuando es requerido en la operación, el floculante madre es diluido antes de llegar a los espesadores.

3.1. Preparación de floculante madre y medición de viscosidad

En la actualidad, CMDIC no cuenta con un un sistema de medición de viscosidad en línea que permita retro-alimentar el proceso de preparación y adición de floculante, siendo un procedimiento completamente manual y a cargo de los trabajadores del laboratorio de metalurgia. Para analizar la mezcla de floculante, se recolectan muestras manualmente y son llevadas a laboratorio, estas muestras son recogidas 3 veces por cada turno de 7 días, esto quiere decir que durante una semana, solo se recolectan 3 veces muestras de floculante para su análisis. A partir de esto, los datos recogidos son enviados a un operador que realiza el cálculo de los valores que se necesitan en DCS para que este envíe la señal de la cantidad de floculante que debe ser añadido y vaya estabilizando la concentración de floculante madre.

El proceso de toma de muestra y obtención de la concentración del floculante, como es mencionado anteriormente, se realiza solo tres veces por semana, esto se debe a que el proceso tiene un rango de tiempo promedio de 3 a 4 horas, considerando la salida a terreno, la toma de muestras, el regreso a laboratorio con las muestras y el análisis de estas. Sin embargo, este procedimiento debiese realizarse varias veces al día, con el fin de saber como esta el floculante madre que se utiliza en los espesadores, o como mínimo cada vez que los tanques son llenados con nuevas soluciones de floculante madre, lo cual sucede cada 3 horas aproximadamente, pero laboratorio esta encargado de diversos procedimientos por lo que el tiempo no es suficiente para realizar diariamente la toma de muestras de este polímero. Es por esta razón, que la utilización de un viscosímetro en línea que tome muestras de forma continua, ayuda a que el proceso se mantenga óptimo y aumenta la productividad, ya que el personal de laboratorio tendrá horas extras para utilizar en otros procedimientos que también se ven acotados de tiempo por la cantidad de trabajo requerida.

La preparación y almacenamiento de floculante madre se encuentra en el área de reactivos, donde el floculante SNF604 que tiene un formato en polvo, es añadido a un alimentador pesométrico para, posteriormente, añadir la cantidad requerida con un tornillo dosificador en un tanque mezclador junto con agua. La mezcla de floculante en polvo y agua se realiza generalmente cuando el tanque de mezcla se encuentra en un 20 % de su capacidad de llenado, añadiendo la cantidad que se necesite de acuerdo a la utilización requerida por parte de la operación, teniendo en cuenta que la concentración debe ser de 3,5 $[g/l]$. El tanque mezclador se mantiene agitando la muestra un mínimo de 45 minutos antes de

enviarla por medio de bombas a los tanques de almacenamiento de floculante madre donde se mantiene hasta el momento que se requiera en los espesadores, donde se debe diluir nuevamente antes de llegar al espesador.

En la Figura 3.1, se puede observar el Diagrama del Proceso de Preparación de Floculante Madre, donde se incluye en color amarillo (para mayor distinción) el viscosímetro VML, con el fin de ayudar a entender el proceso.

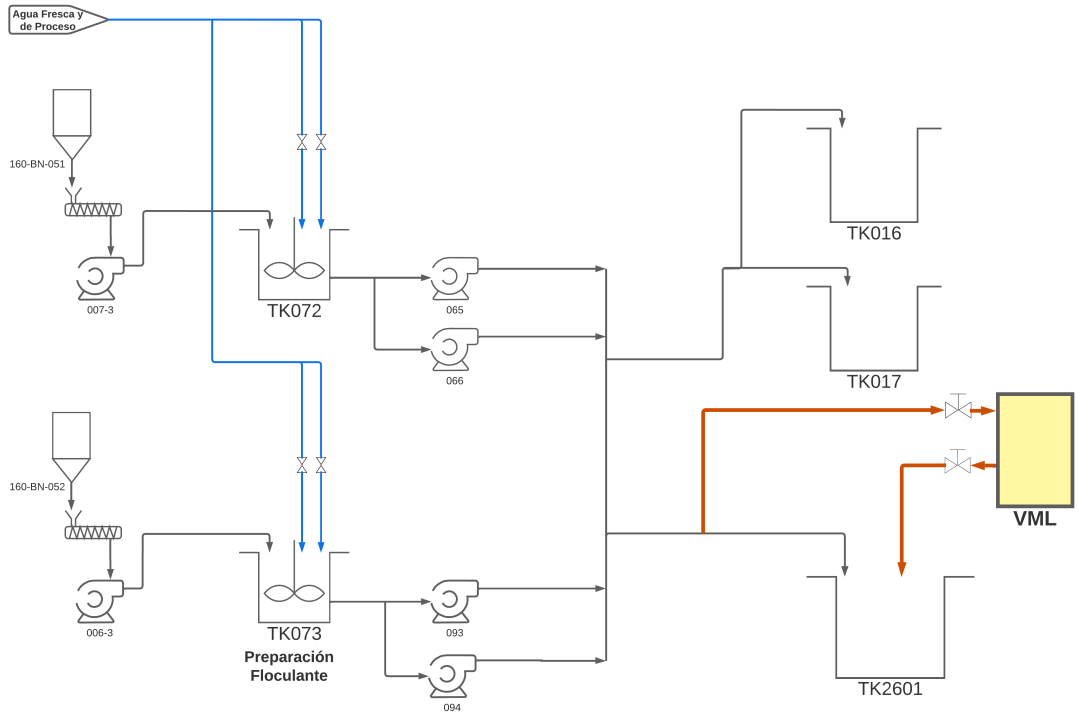


Figura 3.1: Diagrama del Proceso de Preparación de Floculante Madre.

De la Figura anterior, se observa que se cuenta con dos alimentadores pesometricos que, junto transportadores neumáticos 006 y 007, agregan el floculante en polvo a los estanques de preparación TK072 y TK073, a los cuales se les agrega agua para realizar la mezcla. Estos estanques distribuyen el floculante madre en tres tanques de almacenamiento, TK016, TK017 y TK2601, siendo el TK2601 el que se ocupa en mayor cantidad. El medidor de viscosidad obtiene las muestras directamente desde la tubería por donde pasa el floculante hacia el TK2601 y las devuelve directamente en este tanque de almacenamiento, sin perder fluido.

Para entender con mayor detalle el proceso, en este capítulo se muestra la reconstrucción del P&ID del proceso de preparación del floculante madre desde que se agrega el floculante en polvo a uno de los tanques mezcladores junto con agua de proceso, como se observa en la Figura 3.2, hasta llegar a su tanque de almacenamiento. Cabe señalar que en esta sección se muestra el P&ID por partes, pero la versión completa y unida se encuentra en el Anexo A.1.

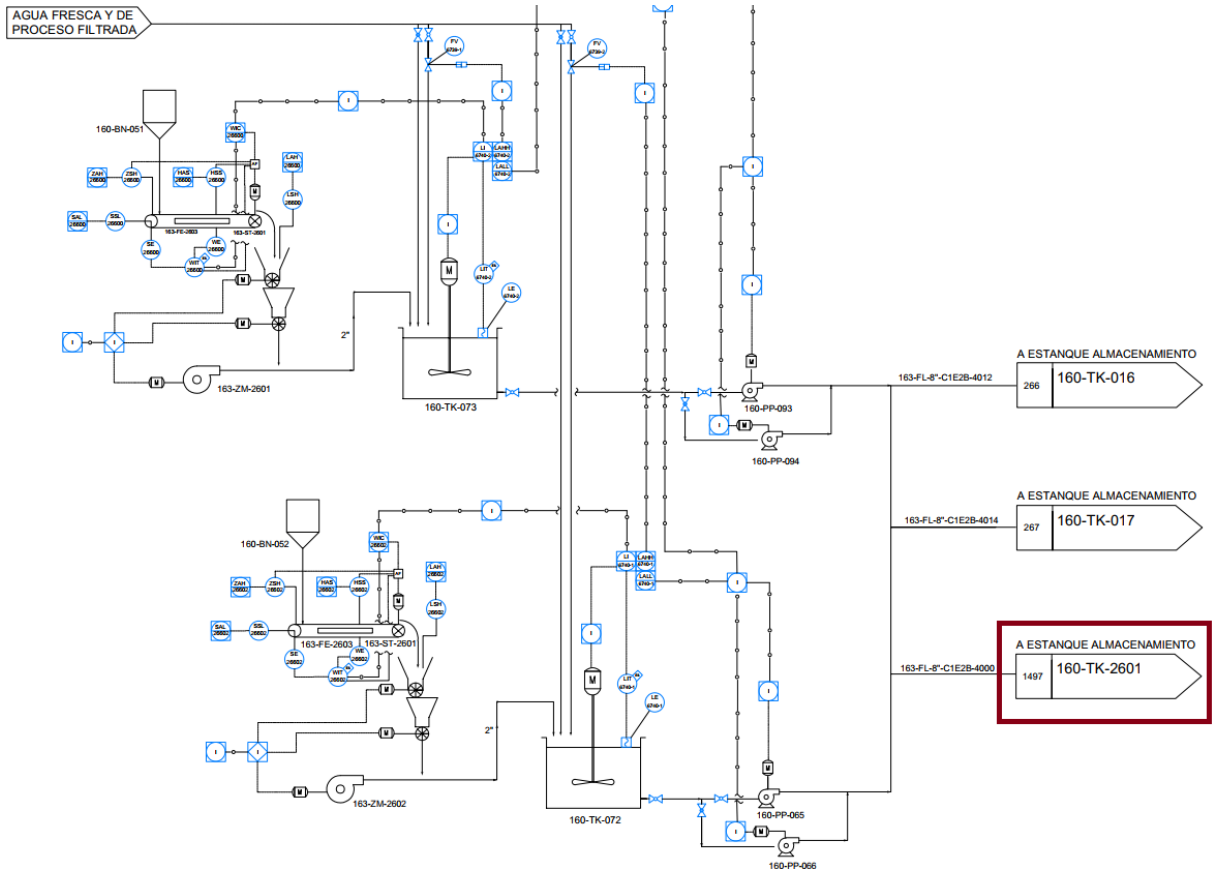


Figura 3.2: P&ID proceso de adición de floculante en polvo y agua.

En la figura anterior, se pueden observar los instrumentos y alarmas que tiene el sistema para poder preparar y agitar lo suficiente la mezcla de floculante, con el fin de enviar el fluido a los estanques de almacenamiento, destacando en un cuadrado rojo el estanque de donde se tomarán las muestras. Cabe destacar que este sistema no posee un sistema de control que tome la decisión de diluir o concentrar la mezcla de floculante madre si es que los parámetros no se encuentran en las condiciones necesarias, estas decisiones son tomadas por el operador y DCS, quienes al ver que no son los parámetros óptimos, deciden si agregar más agua para diluir la mezcla o disminuir la cantidad de agua para concentrarla.

En la Figura 3.3, se observa un acercamiento del sistema de dosificación con un alimentador pesométrico (163-FE-2603), chute de descarga (163-ST-2601) y el transportador neumático de floculante (163-ZM-2602), con los instrumentos correspondientes.

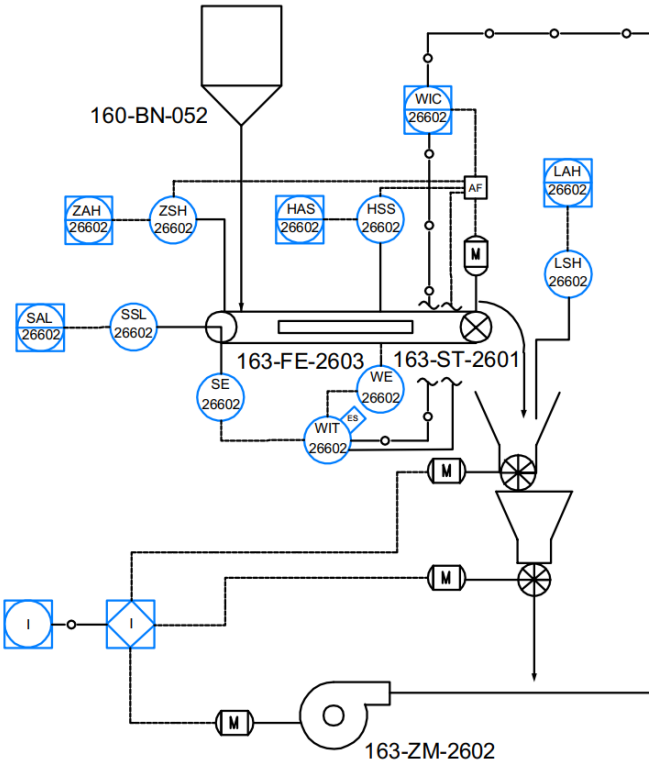


Figura 3.3: Acercamiento del P&ID del proceso de adición de floculante en polvo.

A continuación, en la Figura 3.4 se realiza un acercamiento de uno de los estanques mezcladores para observar sus respectivos instrumentos.

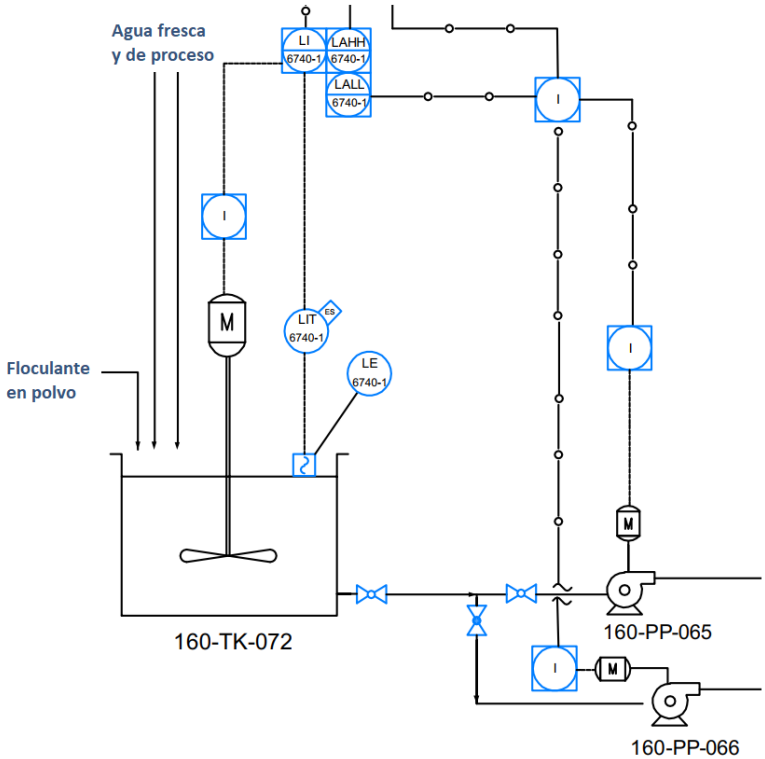


Figura 3.4: Acercamiento del P&ID de un estanque mezclador del proceso de adición de floculante.

Una vez que la mezcla de floculante en polvo y agua se agitó lo suficiente, se convierte en el floculante madre y se envía la mezcla a los estanques de almacenamiento, como se muestra más adelante. El floculante es una cadena de polímeros que al juntarse con agua se empieza a hidratar e hinchar pero no aumenta en masa y si aumenta en volumen, es por esta razón que no se puede obtener la concentración de forma directa y es necesario tener una rango de viscosidades de operación que, a partir de las curvas metalúrgicas realizadas de la experimentación, entreguen las concentraciones correspondientes. La compañía actualmente utiliza el tanque de almacenamiento TK2601 en mayor cantidad que los otros, como se ha mencionado anteriormente, es por esta razón que se posiciona el equipo para tomar muestras de este estanque y devolverlas nuevamente a él. Sin embargo, dependiendo de la utilidad que entregue el equipo, es posible que en el futuro se incorporen otros VML a los estanques TK016 y TK017.

3.2. Dilución de floculante hacia los espesadores

Posterior a la etapa de preparación de floculante madre, el fluido se almacena en los tanques TK016, TK017 y TK2601, de los cuales se envía la mezcla de floculante a los espesadores. Esta mezcla debe ser diluida 10 veces más antes de ser enviada, quedando una concentración aproximada de 0,35 $[g/l]$. En las Figuras 3.5 y 3.6, se observa los P&ID desde los TK de almacenamiento hasta que se envía a los diferentes espesadores, donde, para la disolución del polímero, se añade agua de proceso al floculante madre en un mezclador en línea que se encuentra directamente en la tubería y de esta forma se va agregado el floculante diluido a los distintos espesadores. Actualmente la planta tiene en operación los espesadores de concentrado TK020 y TK021 junto con los espesadores de relave HRT2001 y HRT3001.

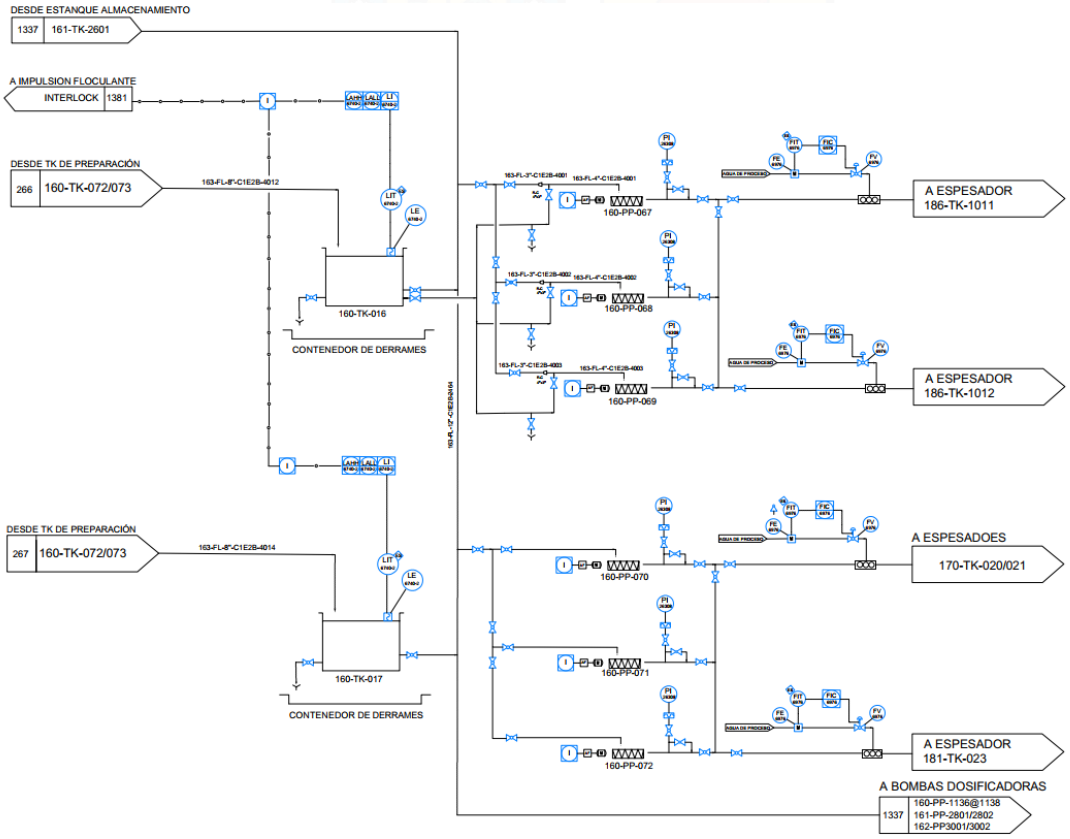


Figura 3.5: P&ID desde TK016 y 017 hacia los espesadores.

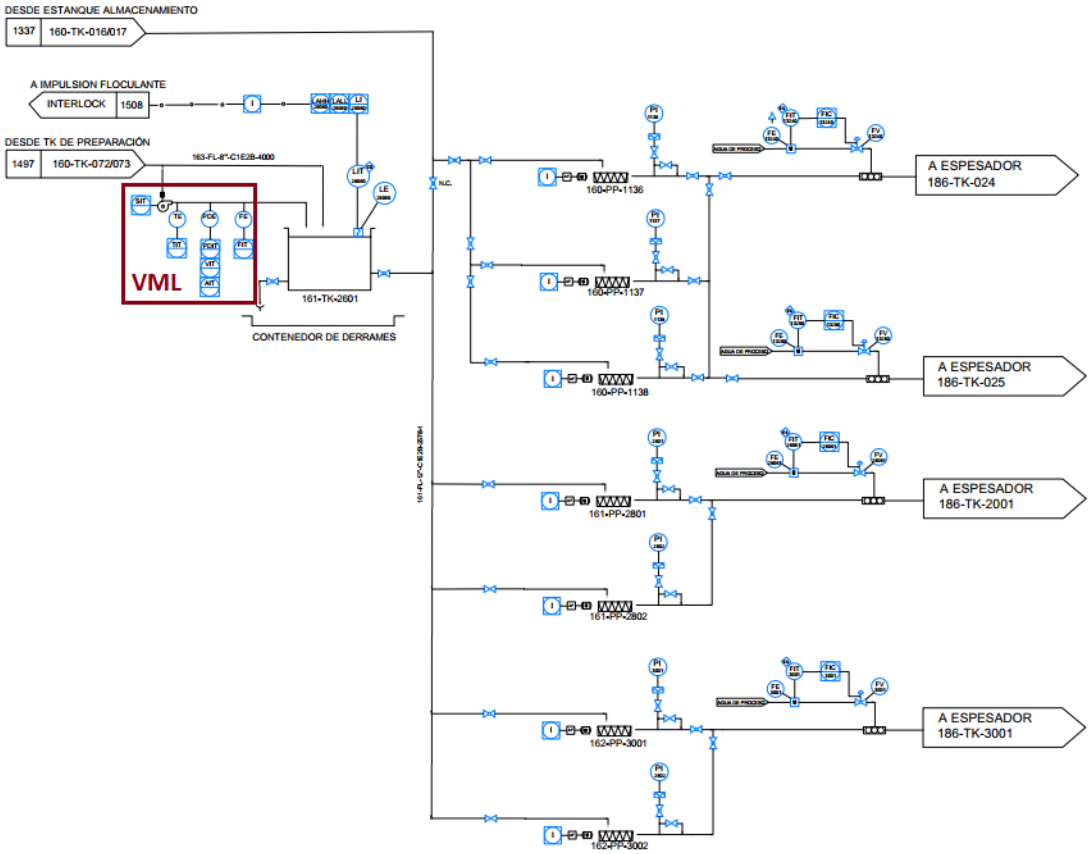


Figura 3.6: P&ID desde TK2601 hacia los espesadores.

De las Figuras anteriores, se puede observar que el proceso cuenta con diversos instrumentos y sensores para ayudar en la operación, los cuales siguen las normas ISA, sin embargo, no contaba con la medición de viscosidad del floculante madre una vez que sale del tanque mezclador y llega al tanque de almacenamiento, por lo que se añade como instrumento un sensor de temperatura, diferencial de presión y flujo, teniendo en cuenta que a partir del diferencial de presión el equipo obtiene la viscosidad (como se explica más adelante) y de esta la concentración. La incorporación de esta medición ayuda al control del proceso hacia atrás, es decir, ayuda a verificar que la mezcla de floculante en polvo y de agua se realiza de manera correcta, detectando si hubo alguna falla en esta parte del proceso.

En la Figura 3.7, se observa de cerca el estanque de almacenamiento TK2601, en el cual se añade una bomba que corresponde a la presente en el viscosímetro, la cual cuenta con indicador de la frecuencia del motor de la bomba. Además, se añaden los sensores que contiene el equipo y sus respectivos indicadores transmisores, los cuales entregan valores en el tablero local y en el DCS de forma remota. La simbología se escribe de acuerdo a la ISA y en este caso el AIT corresponde al indicador transmisor de concentración, la cual se entrega a partir del valor de viscosidad, que en este caso se representa con un indicador transmisor VIT.

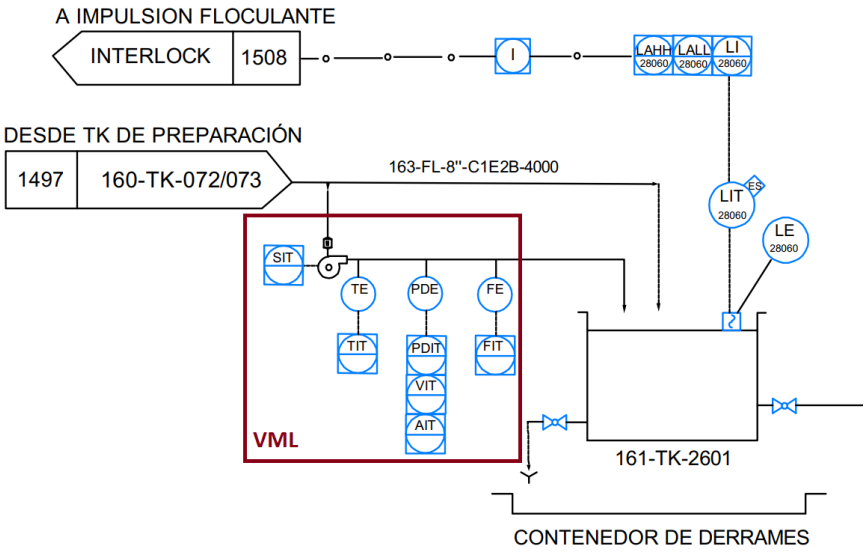


Figura 3.7: P&ID del TK2601 con sus respectivos instrumentos.

Finalmente, en la Figura 3.8 se puede observar un esquema representativo del proceso desde que se mezcla el floculante en polvo con el agua, hasta que el floculante diluido es enviado a los espesadores de relave, el cual se obtuvo de la visualización que se utiliza en planta por medio del software PI ProcessBook. Cabe destacar que si bien, el fin de este proyecto es ayudar en los parámetros de floculante madre, como se puede observar en las figuras anteriores, el mantener los parámetros adecuados de la mezcla inicial ayuda a que el proceso realizado en los espesadores mejore. Esta mejora debe considerar también los otros procesos y medidas aplicados por parte de operaciones, ya que el trabajo en conjunto esta enfocado a alcanzar los parámetros que la viceprecidencia espera como metas.

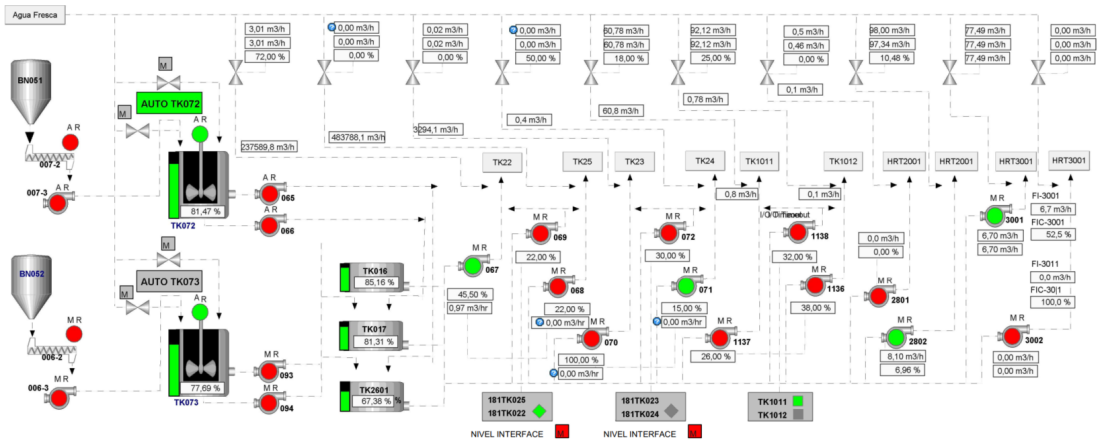


Figura 3.8: Esquema del proceso de floculante madre y floculante diluido hacia los espesadores de relave.

4. Equipo de medición de Viscosidad VML In-Line de SNF

4.1. Características del Equipo

El medidor de viscosidad en línea de la serie VML patentado por SNF, que se observa en la Figura 4.1, permite medir en forma continua la viscosidad de los fluidos obteniendo un monitoreo en línea de las mediciones, las cuales pueden ser enviadas al sistema DCS de la planta para observar su comportamiento. De esta forma se evita utilizar operadores para la realización de este proceso, ya que se debe tener en cuenta que el floculante madre de la concentradora Ujina se encuentra en un área de difícil alcance y cercano a otros reactivos que tienen peligro de explosión. Además, es un equipo diseñado para la medición de floculantes que trabaja a bajas presiones (de hasta 12 bar) con un rango de medición de viscosidad de hasta 5000 cPs, por lo cual, el equipo es capaz de abarcar el requerimiento funcional de la planta que equivale a 73.2 cP, valor para el cual se configura el equipo.

Figura 4.1: Viscosímetro en Línea VML de SNF.

Este equipo permite realizar mediciones de floculante tanto de soluciones madres como soluciones diluidas. A su vez, posibilita mantener en forma estable la concentración del fluido, para una mejor operación de espesamiento puesto que detecta las variaciones en forma instantánea y se pueden tomar medidas inmediatas para corregir las desviaciones en la concentración de floculante madre.

En la Figura 4.2 se puede observar el esquema general de funcionamiento del equipo. Al obtener la muestra de la línea de floculante, el equipo cuenta con una bomba que le ayuda a transportar el polímero pasando el fluido por un flujometro magnético y un transmisor de presión diferencial. En la gráfica se puede observar que al ingresar el floculante, la medición de viscosidad comienza a aumentar rápidamente. El equipo también cuenta con medición de temperatura, lo que se describe más adelante.

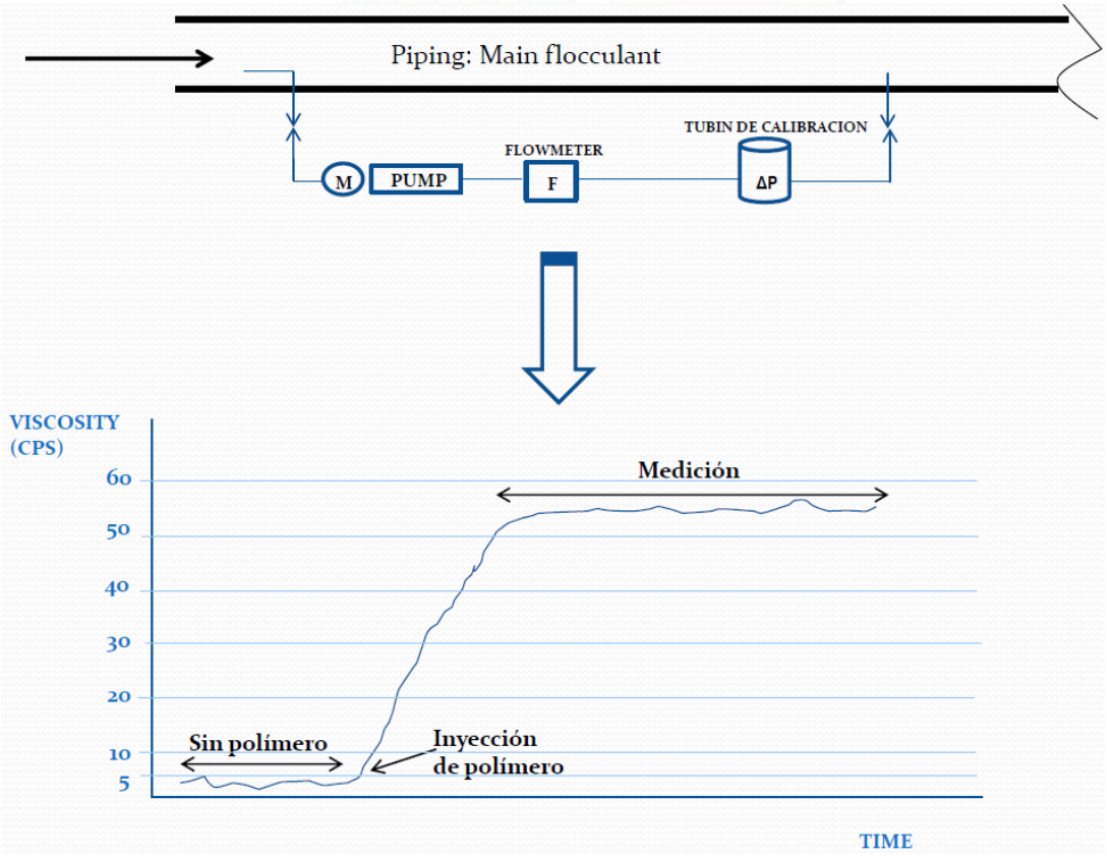


Figura 4.2: Esquema de Funcionamiento del Viscosímetro.

Al realizar la compra del equipo se compromete con el vendedor que el equipo cuente con un PLC Siemens S7 1200 y Modbus TCP/IP. Además, se señala que el equipo debe poseer la fuerza para reingresar las muestras que ha tomado al estanque de almacenamiento, por lo que debe impulsar el fluido aproximadamente 10 metros desde su posición. A su vez, la presión con la que llega la muestra al equipo debe ser suficiente para que pase por cada uno de los componentes del instrumento.

4.2. Características Hw Interno del Equipo

El equipo consiste en una caja metálica de dimensiones largo x ancho x alto iguales a 1.215 x 0.495 x 1.415 metros, esto es considerando el espacio que ocupa el tablero de energía y control del VML. Dentro de la caja metálica, como se observa en las Figuras 4.3 y 4.4, el equipo contiene, entre lo más importante, una Junction Box, un flujometro magnético, un transmisor de presión diferencial, transmisor de temperatura, un depósito de agua y una bomba dosificadora.

Figura 4.3: Interior del equipo VML en terreno.

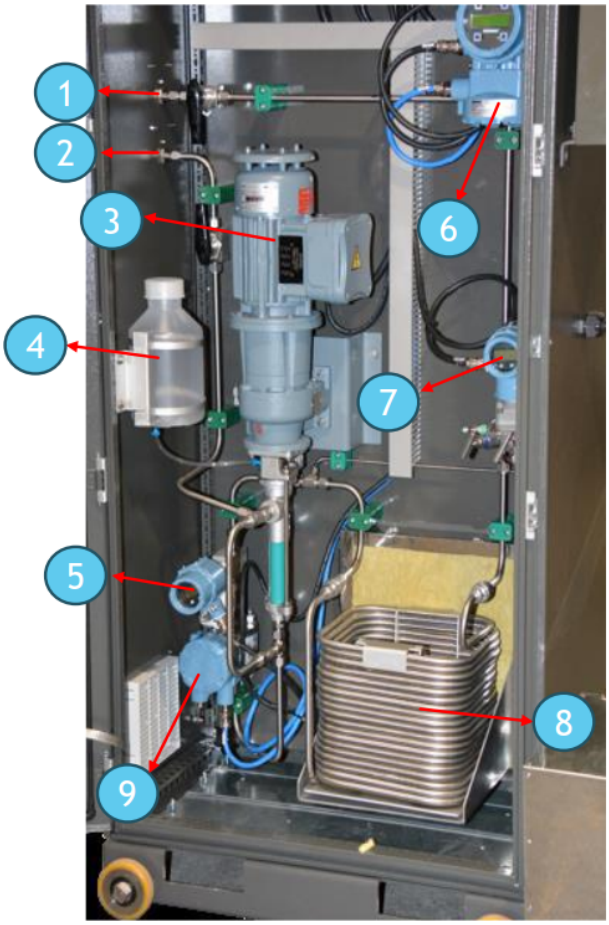


Figura 4.4: Esquema interior del equipo VML.

A continuación, se describe cada número presente en la Figura 4.4:

1. Salida de Floculante
2. Entrada de Floculante
3. Bomba dosificadora
4. Depósito de agua para sello mecánico
5. Transmisor de temperatura
6. Transmisor de caudal magnético
7. Transmisor de presión diferencial con colector
8. Serpentín
9. Flujometro magnético

El floculante entra por la entrada del equipo designada con el número 2, baja por su tubería interna pasando por un transmisor de temperatura (número 5) y un Flujómetro magnético (número 9), el movimiento del fluido dentro del equipo es ayudado por la bomba que se señala con el número 3, la cual posee un depósito de agua para el sello mecánico (número 4). Posteriormente, el floculante

pasa por un Serpentín (número 8), el cual envía el fluido para que pase por un transmisor de presión diferencial (número 7) y por un transmisor de caudal magnético, para finalmente salir del equipo (número 1).

El VML contiene ruedas para ser transportado, sin embargo, se decide dejarlo fijo en el sector sin la capacidad de moverse, esto se debe a los riesgos del área.

A su vez, para la parte eléctrica y de control el equipo cuenta con el tablero que se observa en la figura 4.5, donde se tiene el HMI que permite el control local, Figura 4.5a, el cual cuenta con el PLC requerido junto a sus módulos, Figura 4.5b, teniendo en cuenta que el PLC Siemens S7 1200 trae integrada la comunicación Modbus TCP IP. Además, para energizarlo, el equipo permite conexiones de 110 VAC o de 220VAC, puesto que trae un transformador de 110 a 220VAC.

(a) HMI presente en el Tablero del VML. **(b)** Componentes Internos del Tablero del VML

Figura 4.5: Tablero de energía y control del VML.

4.3. Instalación del equipo

Para la instalación del equipo, se realizan las gestiones correspondiente a la energía, control y tubería, las cotizaciones se pueden observar en el anexo A.2.

El equipo se incorpora a un Controlador ABB AC 800M que se encuentra operativo con otros procesos de la planta y el cual esta conectado a un módulo Modbus TCP/IP ABB CI867. Debido a la gran distancia entre el controlador y el equipo, la conexión se realiza por medio de fibra óptica por lo cual es necesario contar con dos switch y sus respectivas fuentes para realizar la conversión de ethernet a Fibra Optica. Los switches con los que DCS trabaja corresponden a los Hirschmann, por lo que en este

caso se utiliza un switch Hirschmann RS20 4TX/1FX, se cotizan dos de estos y se utilizan fuentes que se tienen en existencia para energizarlos. En la parte del tablero de la sala eléctrica donde se encuentra el controlador, se energiza con DC el switch a partir de un punto entregado por DCS, mientras que para energizar el switch que convierte Fibra a IP en el lado del equipo, se agrega un pequeño tablero que recibe energía de otra sala eléctrica.

En la parte de energía, teniendo en cuenta que el equipo tiene un consumo de 220 VAC, se obtiene energía de un tablero eléctrico de 220 VAC / 20 A, cercano al equipo y dentro del área de reactivos, el cual esta encargado de energizar solo el equipo. Para asegurar el correcto conexionado, se pide orientación y permiso al equipo eléctrico para la asignación de tableros. Un Diagrama de la conexión eléctrica y de control hacia DCS se puede observar en la Figura 4.6, en la cual se identifican las señales, tableros y salas eléctricas.

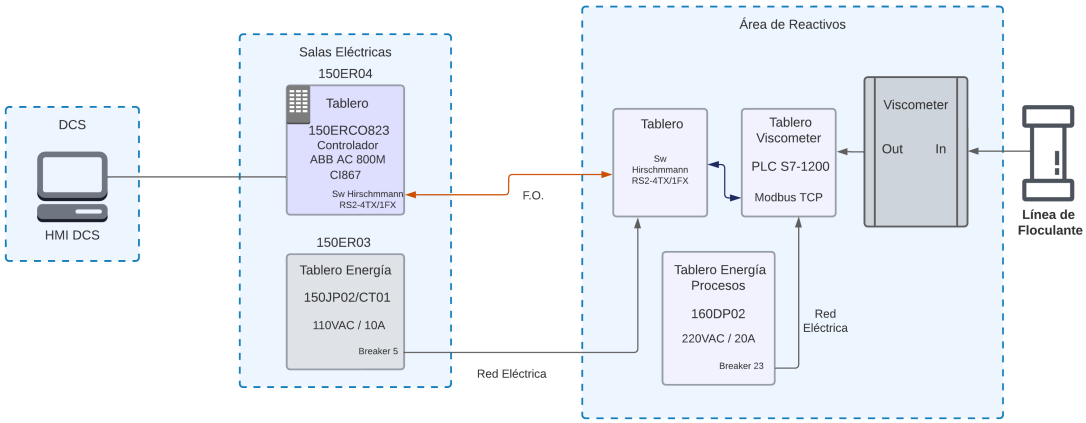


Figura 4.6: Diagrama de las conexiones de energía y red a DCS.

Por otra parte, para la conexión del equipo a la tubería del sistema se tiene especial cuidado en no realizar procedimientos que puedan llevar a explosiones, por lo que toda soldadura y unión de tubería se realiza fuera del área y se llevan las piezas listas para encajar. Además, como la tubería esta trabajando constantemente, para poder realizar el by-pass se utiliza un hottaping, de este modo se asegura que el procedimiento se pueda realizar en cualquier momento sin necesidad de detener el proceso, este es el único procedimiento el cual requiere perforación, por lo que se realiza fuera del galpón de reactivos y se cubre completamente el sector donde se realiza.

Cabe destacar que las tuberías instaladas tienen recubrimiento, con el fin de evitar el congelamiento, ya que muchas se encuentran expuestas a la intemperie. En la Figura 4.7, se observa un esquema básico de las tuberías instaladas, las cuales cuentan con entrada de floculante desde la tubería que envía floculante madre desde los estanques mezcladores al estanque de almacenamiento, en la cual se toman las muestras (anaranjado), se escogen diámetros que puedan ser limpiados con facilidad debido a las características del polímero que tiende a pegarse y ponerse duro, pero se debe disminuir el diámetro para que coincida con la entrada del equipo. De forma similar, en la parte de salida donde el fluido se devuelve al tanque de almacenamiento, se debe aumentar el diámetro posterior a la unión del equipo con la tubería. Además, como ayuda a la limpieza, se dejan despiches para poder introducir posteriormente un sistema de limpieza de agua o para que simplemente se introduzcan mangueras capaces de limpiar las tuberías.

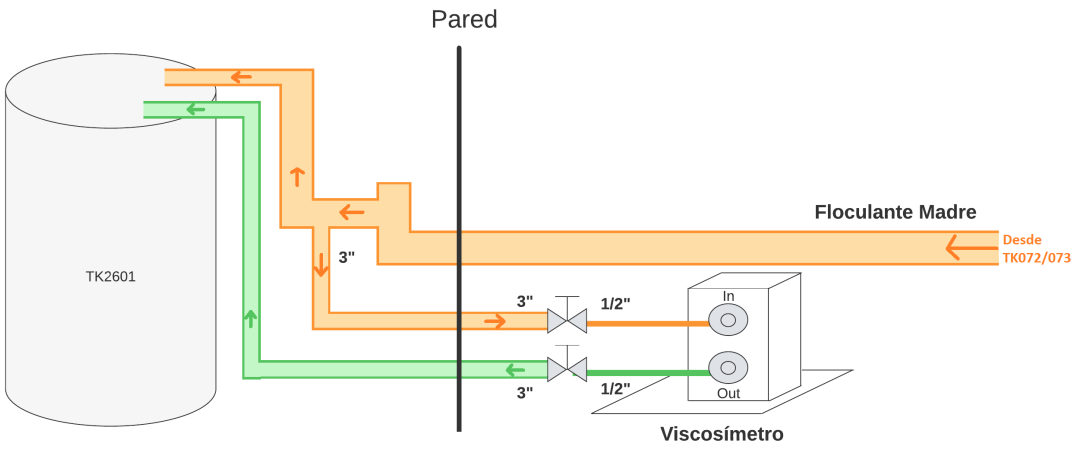
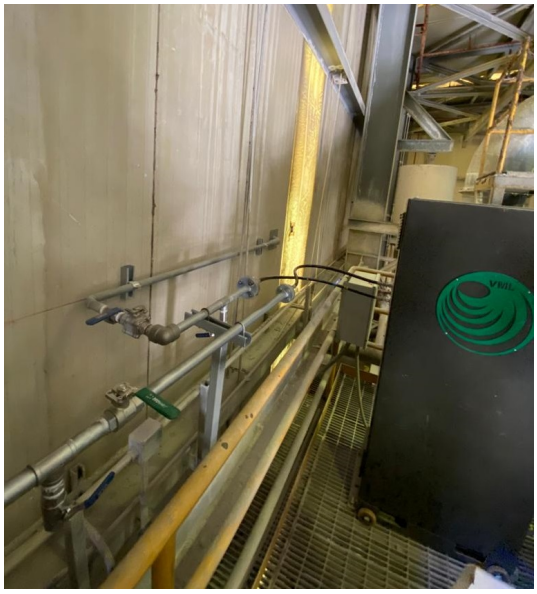


Figura 4.7: Esquema básico de Instalación en terreno del VML.

En la Figura 4.8, se puede observar como se ve la conexión de la tubería en terreno, donde en la Figura 4.8a se puede ver el by-pass realizado a la tubería de floculante madre con el fin obtener muestras y en la Figura 4.8b se observa las tuberías de entrada y salida que llegan a conectarse al equipo.

(a) By-pass en la tubería principal de floculante madre.



(b) Conexiones de entrada y salida del equipo a sus respectivas tuberías.

Figura 4.8: Instalación de Tuberias para el funcionamiento del VML.

Una vez instalada la tubería y conexionado todo el sistema de energía, es posible encender el equipo (Figura 4.9) para la puesta en marcha. En el Anexo A.4, se puede encontrar el link para poder observar los esquemáticos para la energía y el sistema de comunicación del tablero del VML.

Figura 4.9: Equipo Encendido.

4.4. Funcionamiento

El funcionamiento local del equipo se realiza por medio del panel HMI que se observa en la Figura 4.10, este contiene una página principal que puede ser utilizada en inglés o fránces. Además, en esta se puede seleccionar entre cinco funciones: graphs, parameters, viscosity, report y alarms.

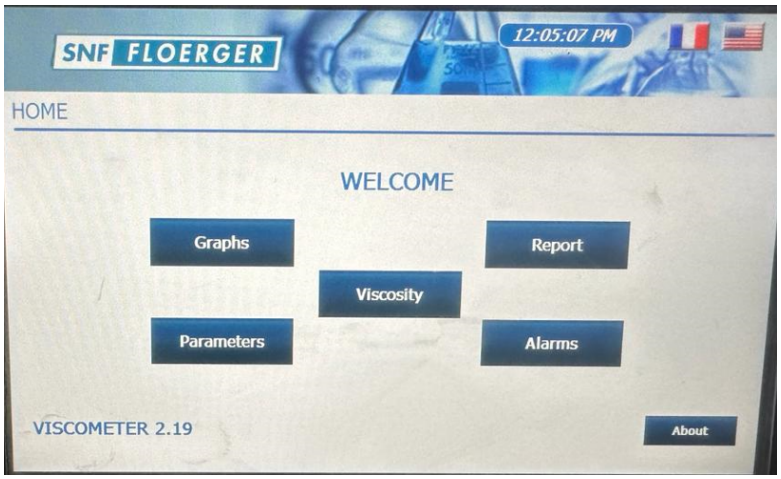


Figura 4.10: Pantalla Principal del Panel HMI del VML.

En el apartado Viscosity que se puede ver en la Figura 4.11, se observa, en la parte superior, la selección del modo de funcionamiento, ya sea local o remoto, junto con la frecuencia del motor de la bomba. En la segunda fila se observa el Setpoint del flujo al cual se ajusta el equipo. En la tercera fila se tienen los valores del flujo de floculante que ingresa junto con la presión y la temperatura de este flujo que ingresa. En la parte inferior se encuentran tres valores de viscosidad junto al número “n", parámetro entregado por SNF, y a la velocidad de cizalle real y la ingresada por el operador. El primer valor de viscosidad corresponde a la corregida con la temperatura ingresada, el segundo valor de viscosidad corresponde a la corregida con la velocidad de cizalle y el tercer valor de viscosidad corresponde al valor real medido por el instrumento. Tanto el primer como el segundo valor de viscosidad, tienen las mediciones mas cercanas al valor requerido por la compañía $(73,2cP)$, puesto que el floculante es muy reactivo a la temperatura y el movimiento.

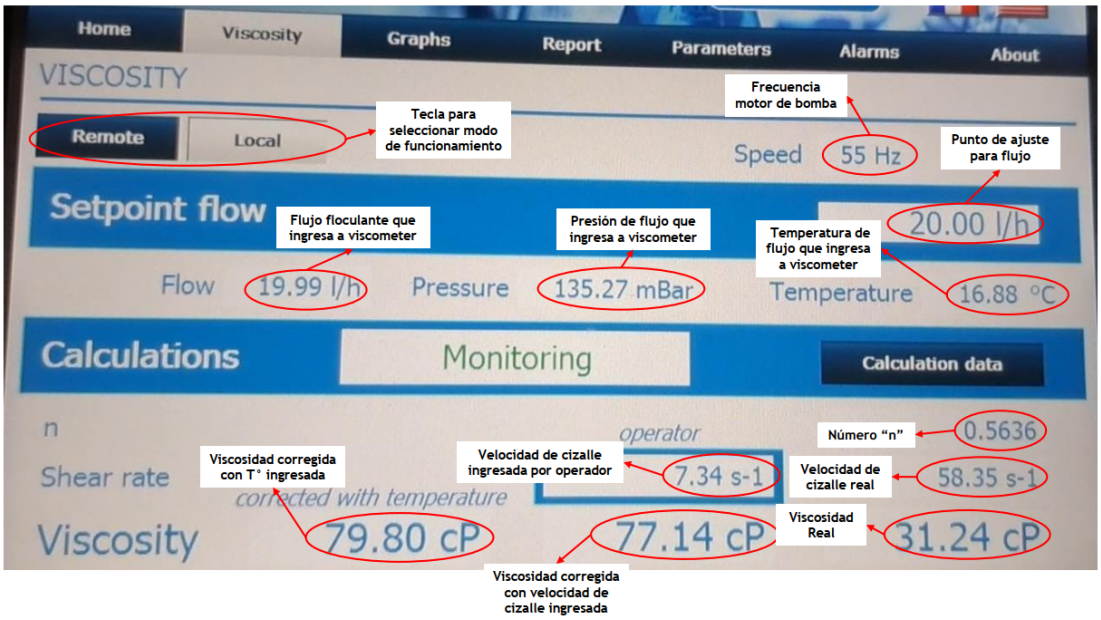


Figura 4.11: Panel de Viscosidad entregada por el VML en el HMI local.

Dentro de la ventana de Viscosity, en Calculation data se encuentra lo que se observa en la Figura 4.12. En esta ventana se encuentra los valores del diametro de la bobina, la longitud de la bobina, el tipo de ecuación para la corrección con temperatura de la viscosidad, el modo de cálculo de la viscosidad (manual, semi-automático o automático), los puntos de estabilización, la presión de cada uno de los puntos de estabilización y el tiempo que se demora, la tolerancia de flujo y el tiempo de estabilización de flujo. Estos valores son ajustados por SNF antes de entregar el equipo, por lo que no se tiene un manejo de ellos por parte de CMDIC.

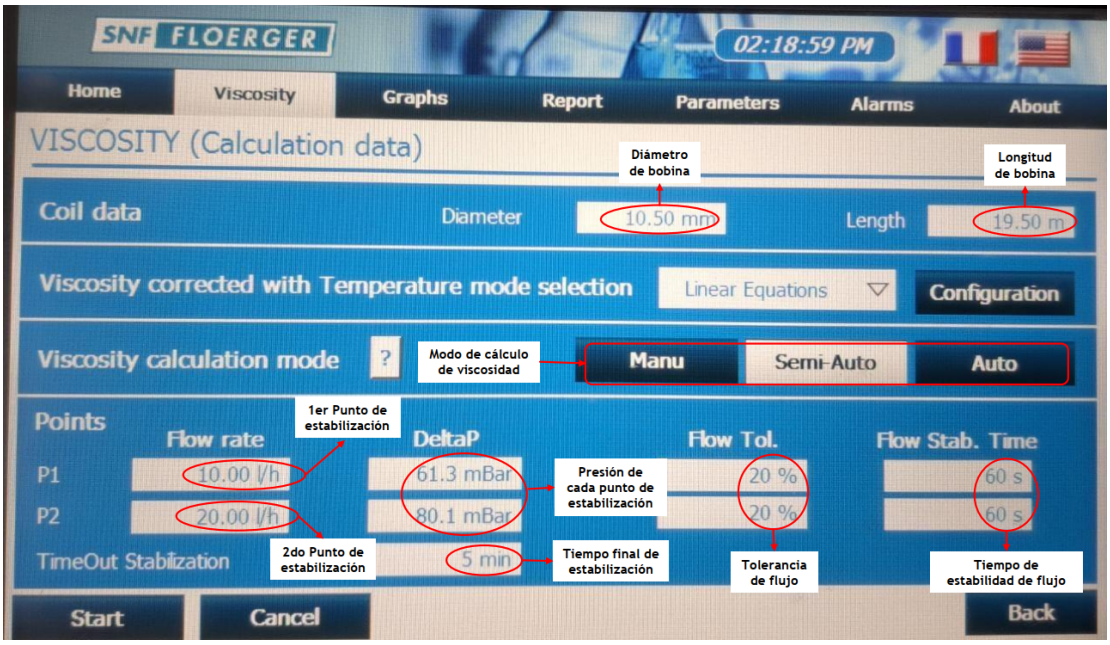


Figura 4.12: Panel de Viscosidad para el calculo de los valores.

En la corrección de viscosidad con temperatura, se pueden observar la selección del tipo de ecuaciones para calcular la viscosidad dependiendo de la concentración y el floculante utilizado, además, de la temperatura ingresada para corregir. En la Figura 4.13, se observan dos valores para pendientes y dos offset, cabe señalar que estos parámetros son manejados por SNF, quienes a partir del floculante utilizado por CMDIC, realizan sus curvas e identifican los valores correspondientes.

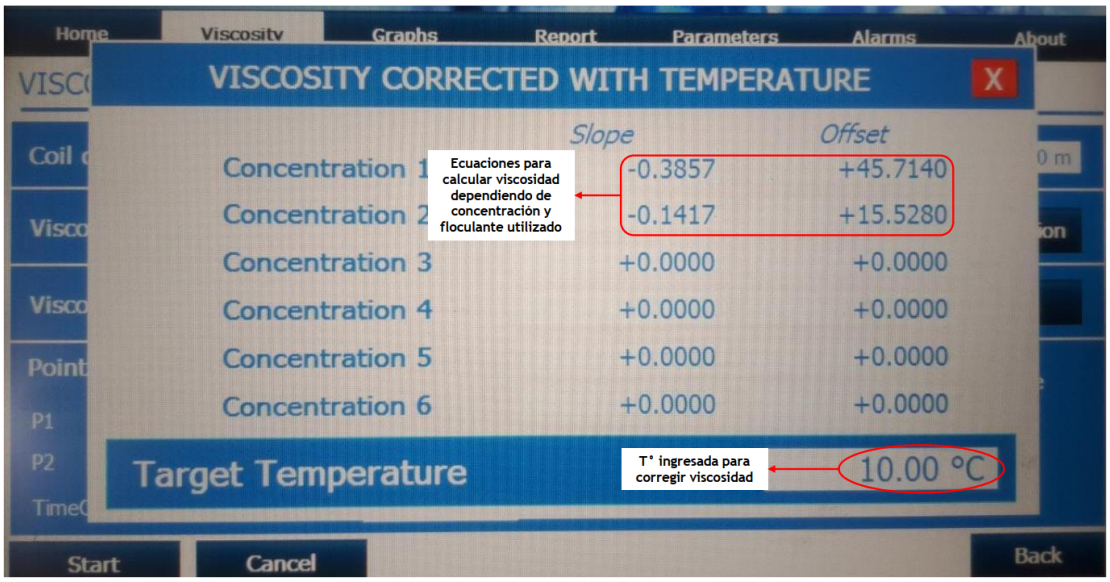


Figura 4.13: Panel de Viscosidad con las ecuaciones para la correción con temperatura.

En Graphs, se pueden observar gráficas de las líneas de tendencia de viscosidad y concentración

que el equipo va realizando con los datos recolectados, como se puede ver en la Figura 4.14.

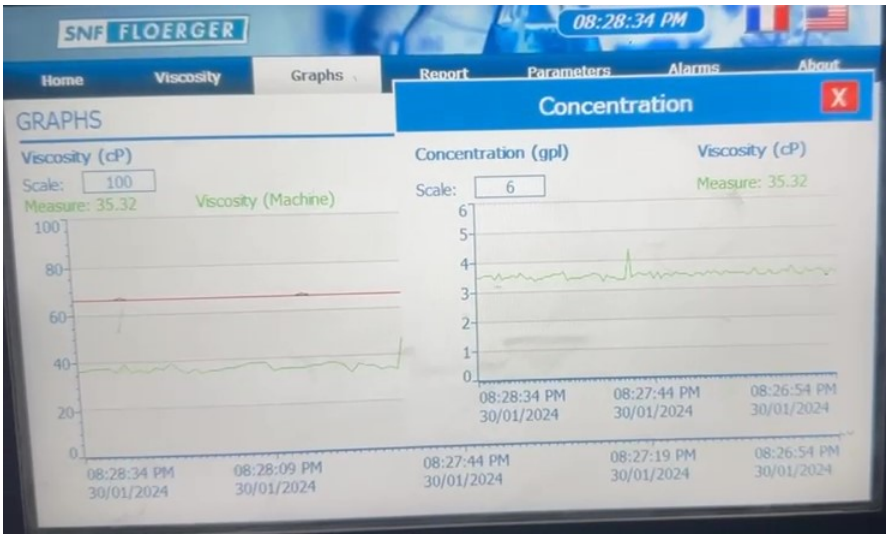


Figura 4.14: Panel de Gráficas de Viscosidad y Concentración.

Report, como se observa en la Figura 4.15 entrega reportes de los valores de proceso, como cantidad de muestras medidas y permite traspasar la información a un pendrive, desde el puerto USB del equipo.

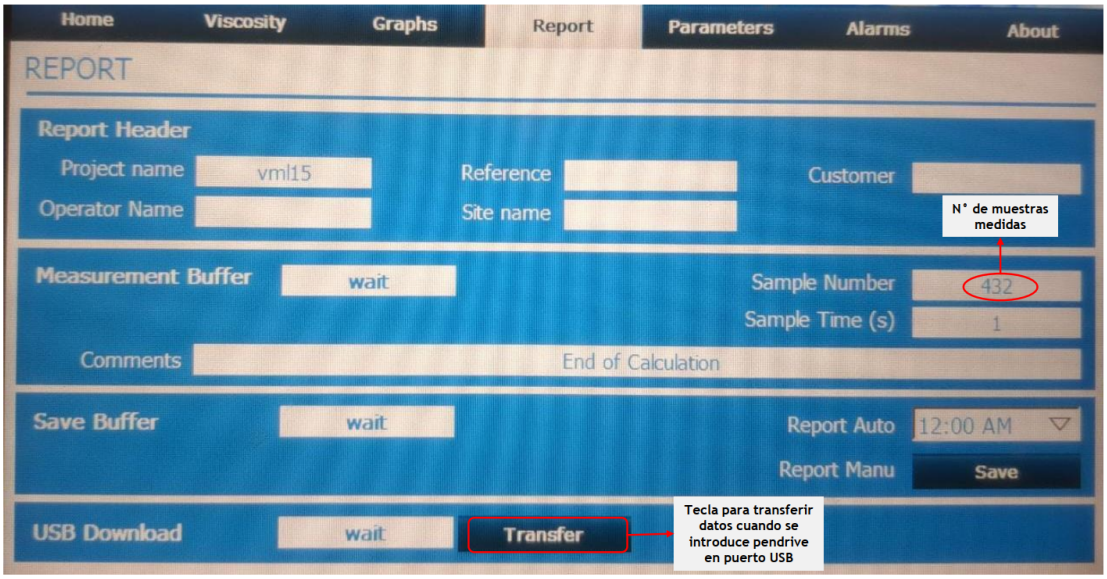


Figura 4.15: Panel de Reportes.

En Parameters, se seleccionan los diferentes parámetros a utilizar para la operación del equipo, estos deben ser definidos a partir de los requerimientos de la planta. En la Figura 4.16, es posible observar el parámetro PID proporcional, integral y derivativo. Además, en Alarm setting se tiene Low flow Fault que corresponde a la falla de bajo flujo de la bomba (valor mínimo para la tasa de flujo), bajo este valor la bomba se detiene, y para time out que corresponde a un temporizador que se utiliza para inhibir la alarma

de bajo flujo cuando se pone en marcha la bomba. En Monitoring Viscosity se tiene la tolerancia de la viscosidad monitoreada, la tolerancia del flujo monitoreado y el tiempo de monitoreo. En Measurements, se tiene la unidad de temperatura con la que se trabaja (°C o °F). Estos parámetros fueron configurados por el vendedor del equipo.

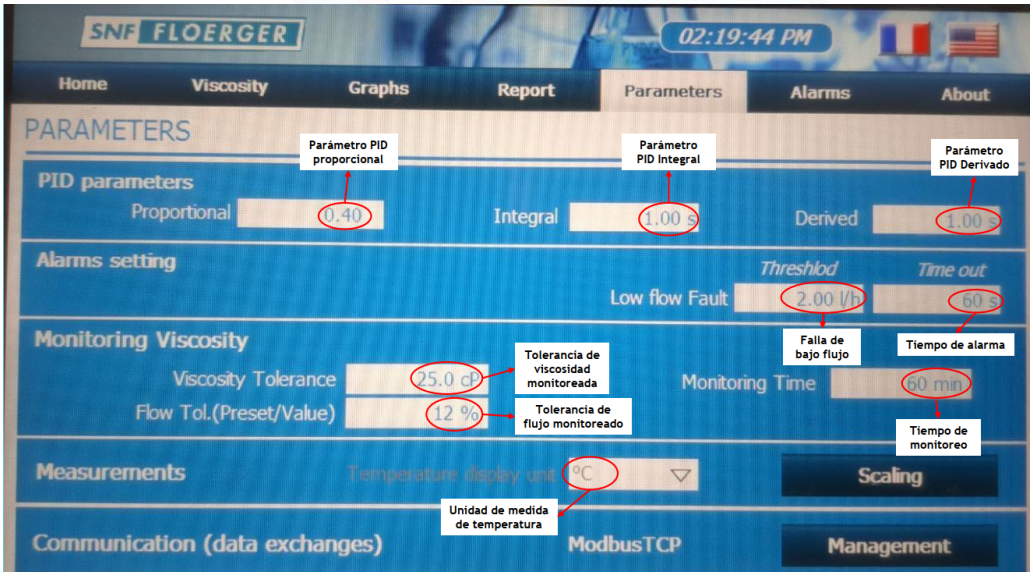


Figura 4.16: Pantalla de parámetros a configurar para el VML en el HMI.

En la parte de Scaling, dentro de la ventana de parámetros, se puede ver lo de la Figura 4.17, donde se tienen los valores máximos de flujo, temperatura y presión a evaluar, que corresponden a las entradas, junto con los valores máximos para las señales de salida de la viscosidad, temperatura y velocidad de corte.

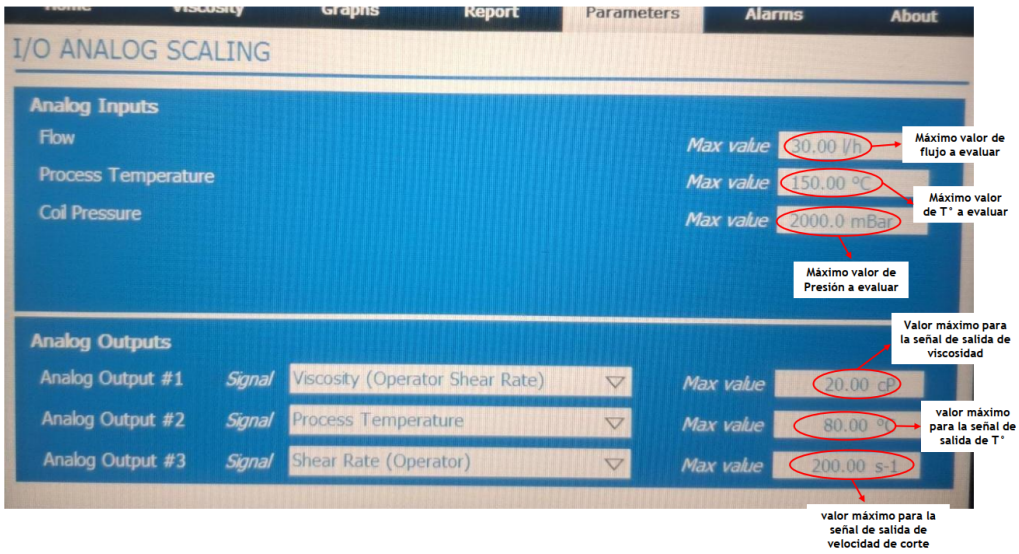


Figura 4.17: Pantalla de parámetros máximos a configurar en el VML para las entradas y salidas.

Finalmente, Alarms se utiliza para las alarmas que entrega el equipo, las que se entregarán con hora, fecha y una descripción del problema, como se observa en la Figura 4.18.

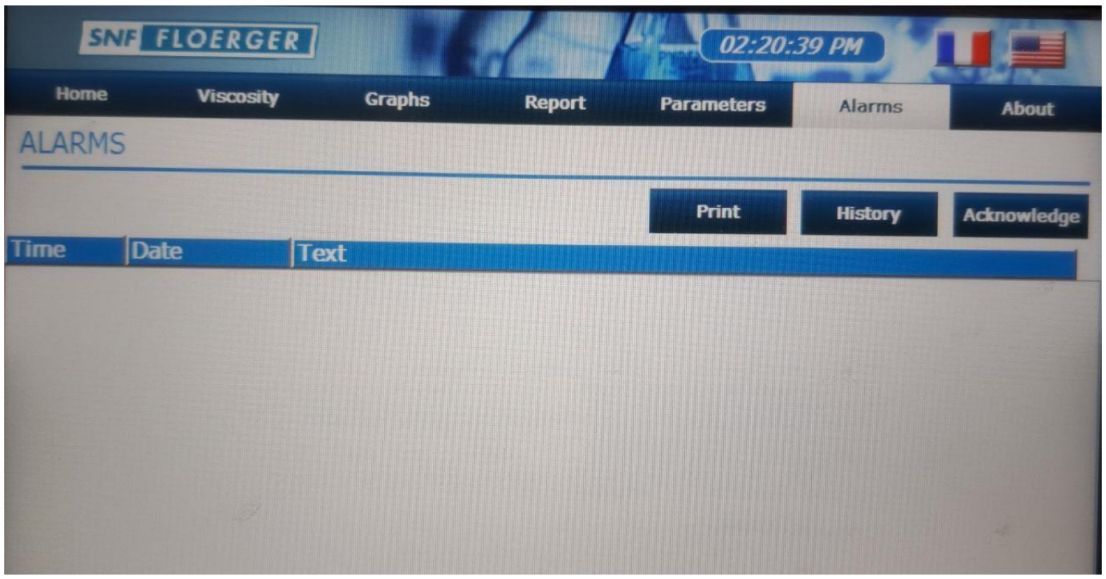


Figura 4.18: Panel de alarmas que entrega el VML.

4.5. Puesta en marcha del medidor de Viscosidad

Lo primero a realizar para la puesta en marcha es la calibración del equipo, que se realiza a partir de los requerimientos de la concentradora, que se pueden ver en la Tabla 2.1 presentada en el capítulo 2, teniendo en cuenta que la presión de la tabla corresponde a la que pasa por la tubería donde se realiza el by-pass para desviar flujo de floculante al equipo y no a la que pasa por el interior del instrumento.

El proceso de calibración lo realiza personal de SNF antes de la entrega de la máquina y los datos de calibración se proporcionan junto con el equipo. Sin embargo, una vez realizada la instalación, el equipo de SNF en conjunto con CMDIC realizan un comisionamiento para asegurarse que la calibración se realizó correctamente y si es necesario algún cambio o realizar una nueva calibración.

Antes de encender el equipo, lo primero que se revisa es que todos los componentes se encuentren bien instalados para posteriormente conectar eléctricamente. Además, antes de poner en marcha la bomba se debe revisar el nivel de agua del sello mecánico de la bomba (Mechanical seal water), ya que, es necesario que el nivel de agua en el depósito dedicado para esta, el cual se observa en la Figura 4.19, sea suficiente (entre el nivel bajo y alto del contenedor). Si no se alcanza el nivel mínimo de agua, el sello mecánico de la bomba se dañará.

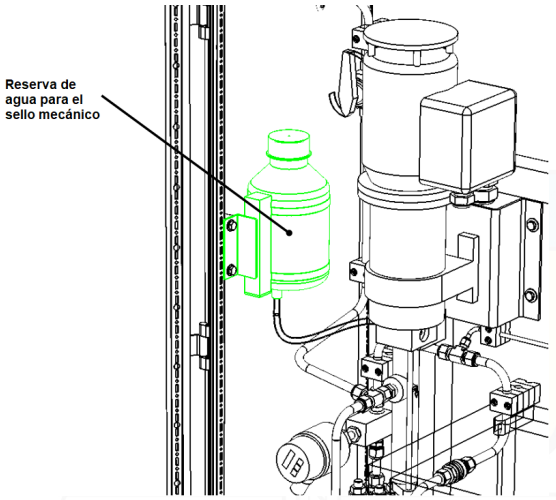


Figura 4.19: Reserva de agua para el sello mecánico de la bomba.

Una vez revisado el sello, se debe verificar la dirección de rotación del motor de la bomba y asegurarse que las válvulas de entrada y salida de floculante se encuentren abiertas, mientras que las válvulas que se encuentran en manómetro estén las azules abiertas y las rojas con verdes cerradas. Después, se deben configurar los parámetros.

Posteriormente, en modo semi-auto se realiza la calibración del VLM, en la cual primero se enciende la bomba, para luego dar inicio desde pantalla táctil. El viscosimetro comienza la calibración con un setpoint inferior de 10 l/h durante 60 seg y prosigue con la calibración de un setpoint superior de 20 l/h durante 60 seg. Si el flujo se mantiene estable no existirá ningún problema y este continuará monitoreando, de caso contrario iniciará la calibración nuevamente.

En la puesta en marcha, se tienen en cuenta los siguientes puntos:

1. Visualización del caudal real a través del viscosímetro (Flow).
2. Visualización de la presión diferencial real (Pressure).
3. Visualización del valor del índice “n” de la solución que fluye a través del viscosímetro.
4. Visualización del valor real de la velocidad de corte.
5. Visualización de la viscosidad medida.
6. Mantener en modo semi-auto a lo menos 1 hora y observar operación.
7. Finalmente probar equipo en modo auto y observar operación.

4.6. Mantención preventiva

Las mantenciones preventivas del equipo dependen de sus instrumentos internos, por lo que de acuerdo a los planes generales que realiza CMDIC, se crea un plan de revisión en el cual se deben seguir operaciones periódicas de inspección y mantenimiento para evitar daños graves. En caso de que el equipo se detenga por más de 6 horas, debe ser lavado con agua para evitar que el floculante se congele y tape el equipo.

Se deben realizar inspecciones cada dos semanas del equipo, en la cuales se examina lo siguiente:

- Verificación de vibraciones anormales en el VML.
- Revisión del nivel de agua en el deposito del sello mecánico de la bomba. Rellenar si es necesario.
- Realizar lavado en el equipo solo con agua, este se debe implementar de la misma forma que al accionar el equipo con floculante, con el fin de evitar que en las tuberías queden restos de floculante endurecido.

A su vez, deben realizarse mantenciones anuales en las cuales se debe revisar lo siguiente:

- Examinar el grado de corrosión de la instalación.
- Mantener la instalación con una conexión a tierra adecuada e inspeccionar el equipo en busca de posible descargas eléctricas.

A su vez, si el viscosímetro se detiene por un tiempo mayor a 6 horas, este debe ser lavado con agua, ya que se corre el riesgo de que el floculante se congele y tape el equipo.

El mantenimiento de la bomba consta de la limpieza y la lubricación. En el primer punto, es necesario tener en cuenta que la bomba debe enjuagarse o limpiarse periódicamente si existe la posibilidad de que se pueda obstruir por desechos contaminantes, lo cual se realiza a través de los puertos de limpieza provistos en la carcasa de la bomba, manualmente desmontando la bomba o automáticamente, para carcasas especiales con una sección de lavado, para esta bomba se puede revisar el documento [22] para mayor información, el cual corresponde al manual de la bomba. Por otra parte, la lubricación no se requiere frecuentemente y cada 5000 horas de funcionamiento o al menos cada dos años se debe desmontar la unidad motriz, retirar cojinetes, limpiar todas las piezas y renovar el lubricante.

Por último, El vendedor señala que el equipo no necesita actualizaciones de software constantes, puesto que la que posee es la más actual y a menos que deje de funcionar, no recomienda que se contraten las actualizaciones.

5. Arquitectura de conectividad con DCS

5.1. Red de Comunicación

La integración a DCS se se realiza mediante un controlador ABB AC 800M, el cual cuenta con un módulo CI867 que se encarga de recibir la información a través del protocolo de comunicación Modbus TCP. En la Figura 5.1, se observa la conexión desde el VML, con su PLC Siemens S7-1200 hasta el controlador ABB AC800M, el cual esta conectado al sistema ABB DCS800xA.

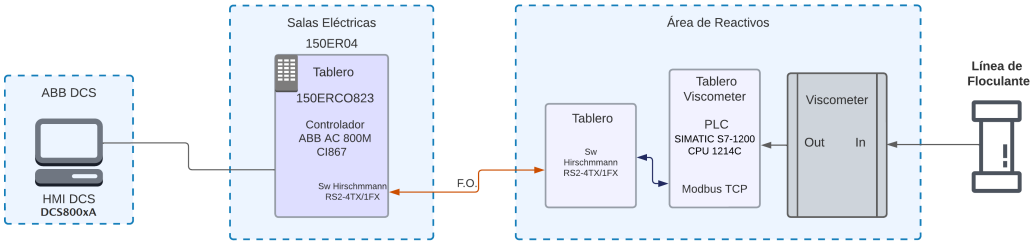


Figura 5.1: Diagrama de Conexión a DCS.

Las variables de entrada y salida que se manejan en el PLC del equipo son las que se presentan en la Tabla A.3 que se presenta en el Anexo. Sin embargo, DCS solo recibe las variables de flujo del floculante que ingresa, presión del flujo que ingresa, temperatura, frecuencia del motor de la bomba, viscosidad real y concentración. Al observar la Tabla del anexo es posible notar que estos valores no corresponden a todas las variables utilizadas por el equipo, solo las fundamentales. Debido al alto costo dado por el vendedor para entregar todos los parámetros que se visualizan en el HMI de terreno, se decide realizar la integración solo con las variables fundamentales.

5.2. Integración y procesamiento de datos

El funcionamiento de forma remota del viscosímetro, se basa en los valores entregados por el PLC Siemens S7, el cual convierte los valores mediante un bloque que utiliza la norma IEEE 754, por ende, para poder visualizar los resultados, es necesario que el programa del controlador ABB utilice un bloque que revierta esta conversión. Cabe mencionar que los códigos desarrollados por ABB y Siemens son con derecchos reservados, por lo que no es posible obtener la lógica interna por parte de los programadores del sistema.

A continuación, se muestra un ejemplo entregado por los programadores del PLC Siemens S7 en la reunión con el vendedor de francia, en este se puede observar el funcionamiento interno, a partir del

cual se integra a DCS. En este caso, en la Figura 5.2 se puede observar que se fija un Setpoint del flujo en 12,00 $[l/h]$.

Figura 5.2: Ejemplo de setpoint fijado en el Viscosímetro.

Este setpoint se define como una variable de tipo Real y de escritura, como se observa en la Figura 5.3, donde la primera address is MSB (Registro 70) y este parámetro está registrado en el PLC Siemens como “DB_HMI.Flow_Setpoit".

Figura 5.3: Ejemplo de registro del setpoint de flujo.

En la configuración del HMI del Viscosimetro, es necesario que en la gestión del protocolo Modbus TCP, se tenga seleccionado el parámetro “**No Swap**” como se observa en la Figura 5.4.

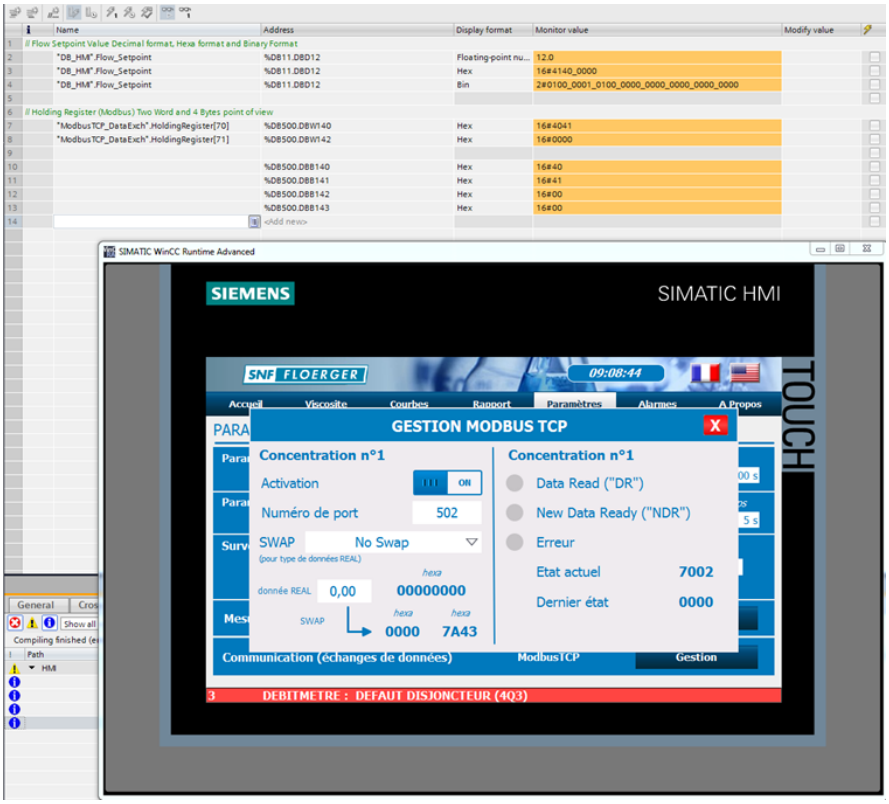


Figura 5.4: Ejemplo de gestión del protocolo Modbus TCP.

En las Figuras 5.5 y 5.6, se observa como trabaja el sistema, donde el setpoint de 12 fue convertido a hexadecimal mediante la norma IEEE-754 (41400000), este número es separado y se copian las dos palabras presentes en los Holding Registers 70 y 71 dando vueltas sus digitos (en 70 se copia 4041 y en 71 se copia 0000). Posteriormente se vuelven a separar, por lo que para integrar a DCS se deben tomar estos datos y el programa debe hacer el proceso inverso. Es decir, ir uniendo e invertir los digitos (en este ejemplo pasar de 4041 pasar a 4140) y juntar la cifra para que a partir del 4140 0000 se vuelva a tener los 12 l/h.

"DB_HMI".Flow_Setpoint	%DB11.DBD12	Hex	16#4140_0000

Figura 5.5: Ejemplo de setpoint en hexadecimal dentro del programa.

"ModbusTCP_DataExch".HoldingRegister[70]	%DB500.DBW140	Hex	16#4041
"ModbusTCP_DataExch".HoldingRegister[71]	%DB500.DBW142	Hex	16#0000
	%DB500.DBB140	Hex	16#40
	%DB500.DBB141	Hex	16#41
	%DB500.DBB142	Hex	16#00
	%DB500.DBB143	Hex	16#00

Figura 5.6: Ejemplo del setpoint hexadecimal que se analiza en los registros.

La configuración final del controlador ABB AC 800M la realiza la empresa ABB con la cual se tiene contrato directo. A esta empresa se les da a conocer el procedimiento que realiza el PLC Siemens S7 para guardar los registros de datos (mostrado anterioremente) y ABB se encarga de dar vuelta el procedimiento para volver al valor en decimal.

Finalmente, SNF configura el equipo desde el PLC Siemens S7 para que en el momento que las bombas dosificadoras, 065 que viene del TK072 y la 094 que viene del TK073, comiencen a funcionar, el Viscosímetro se encienda inmediatamente y comience a tomar datos. Estas bombas son utilizadas para llena los tanques de almacenamiento de floculante cada 3 horas.

6. Resultados

6.1. Funcionamiento local

Una vez terminado el comisionamiento y al poner en marcha el equipo, se comienzan a ver lecturas en el transmisor de flujo magnético, las cuales se pueden observar en la Figura 6.1, donde el instrumento marca lecturas de flujos de alrededor de los 20 [l/h], comprobando que el equipo es capaz de recopilar muestras de la tubería del floculante madre. Es posible ver estas lecturas con más detalle en el siguiente video de flujos.

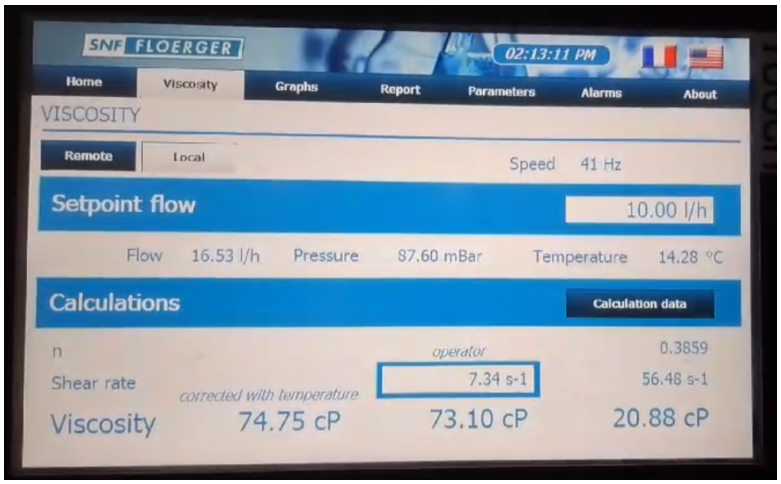
(a) Transmisor de flujo con lectura de 19.9 [l/hr].

(b) Transmisor de flujo con lectura de 20.1 [l/hr]

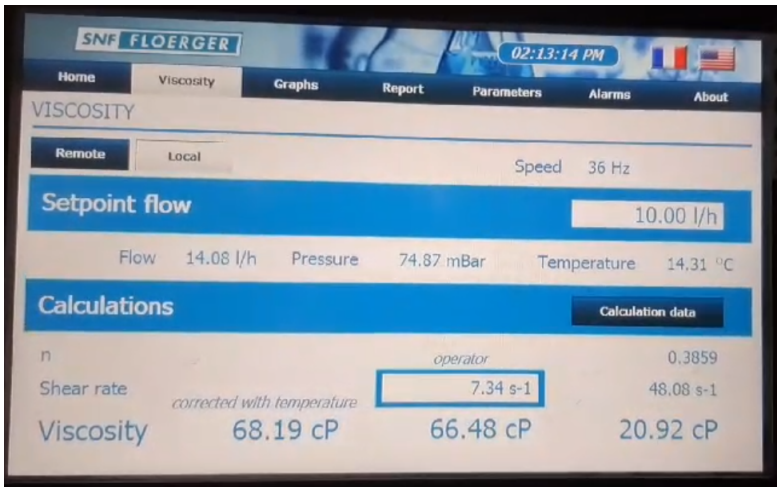
Figura 6.1: Funcionamiento del transmisor de flujo dentro del VML.

Posteriormente, se comprueba el funcionamiento del equipo completo por medio del tablero HMI. Para esto se realizan mediciones en horario PM y posteriormente en horario AM, con el fin de ir revisando

las variaciones del fluido. En la Figura 6.2, se pueden observar mediciones para el horario PM, donde el equipo marca valores de viscosidad cercanos al valor deseado de 73,2 [cP], estos son de 74.75 [cP] para la Figura 6.2a y de 68.19 [cP] para la Figura 6.2b. La lectura entregada por el Viscosimetro en este horario, se puede observar de mejor manera en el siguiente link de mediciones PM.



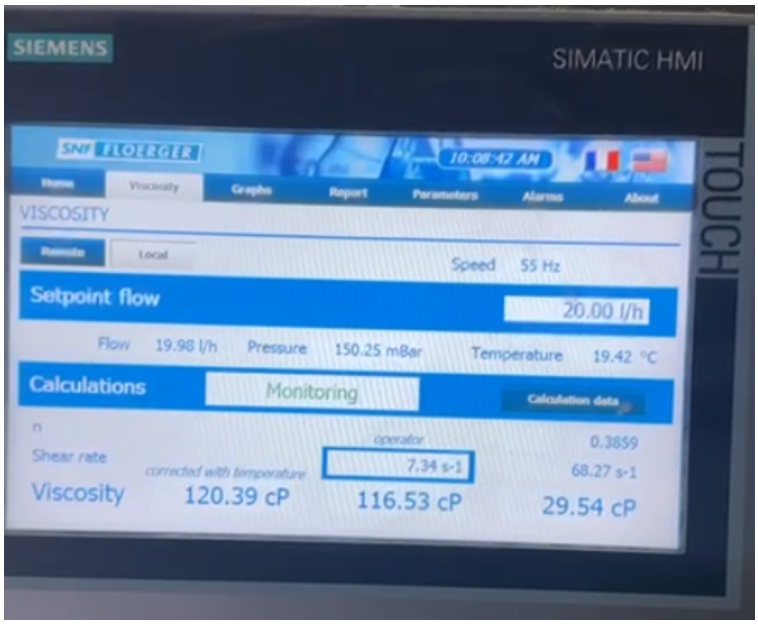
(a) VML con lectura de 74.75 [cP]



(b) VML con lectura de 68.19 [cP]

Figura 6.2: Funcionamiento del Viscosímetro VML de SNF en horario PM

En la Figura 6.3, se pueden observar mediciones para el horario AM, donde el equipo marca valores de viscosidad un poco más altos al valor deseado de 73,2 [cP], estos son de 120.39 [cP] para la Figura 6.3a y de 107.48 [cP] para la Figura 6.3b. La lectura entregada por el Viscosimetro en este horario, se puede observar de mejor manera en el siguiente link de mediciones AM.



(a) VML con lectura de 120.39 [cP].

(b) VML con lectura de 107.48 [cP].

Figura 6.3: Funcionamiento del Viscosímetro VML de SNF en horario AM

Al revisar los valores, es posible observar que en el horario PM varían en torno 73,2 [cP], confirmando la correcta instalación, funcionamiento y puesta en marcha del equipo. Sin embargo, los del horario AM se alejan un poco más del valor deseado, esto se debe a que, como se ha mencionado anteriormente, el floculante es un polímero bastante reactivo a los cambios de temperatura y presión con la que llega al equipo, así como también el hecho de que cada 3 horas se envía nuevo producto elaborado, lo cual cambia la composición anterior del floculante, alertando de un fluido con una concentración más alejada de la esperada. Por ende, al ir revisando los parámetros, es posible notar que el turno AM se tiene un valor más alejado y que se debiese verificar el parámetro de concentración porque podría estar alejado de su valor óptimo. A su vez, cuando el valor este fuera de los rangos aceptados por las curvas

metalúrgicas, el equipo entregará la respectiva alarma que indica que el floculante no esta en su óptimo (revisar indicador de alarmas en anexo A.5).

6.2. Funcionamiento remoto

Una vez realizada las pruebas locales, se procede a observar los valores entregados a DCS, los cuales es posible ver en la Figura 6.4 y en el video del siguiente link de mediciones remotas. A DCS se envía el valor de flujo, presión (del fluido en el equipo), temperatura, frecuencia del motor de la bomba, concentración y la viscosidad real (sin la corrección con temperatura o con velocidad de cizalle).

(a) Lectura remota del VML con viscosidad de 33.72 [cP] y concentración de 3.3 [g/l].

(b) Lectura remota del VML con viscosidad de 38.22 [cP] y concentración de 3.59 [g/l].

Figura 6.4: Funcionamiento remoto del Viscosímetro VML de SNF.

Si bien la viscosidad real difiere del parámetro de 73,2 [cP] entregado por la compañía, se puede apreciar que a una viscosidad real de 33,72 [cP] la concentración entrega el valor de 3,30 [g/l], lo cual es muy cercano al valor requerido de 3,50 [g/l], mientras que a una viscosidad real de 38,22 [cP] la concentración es de 3,59 [g/l], por lo que el valor de viscosidad que se debe considerar en el DCS es

aproximadamente de 38 [cP] para obtener la concentración óptima.

La diferencia en viscosidad entre los 73,2 [cP] y los valores recibidos a DCS, se debe a la sensibilidad del fluido ante las variaciones de temperatura y de velocidad de cizalle, por lo que, como se ha visto en la pantalla HMI de terreno, al realizar las correcciones el valor ronda al esperado. Sin embargo, por la configuración del equipo realizada por SNF, la señal enviada a DCS corresponde a la viscosidad sin las correcciones que realiza el viscosímetro.

6.3. Análisis de resultados

Como se ha mencionado en los puntos anteriores, con el Viscosimetro VML de SNF se logra obtener los valores de viscosidad del floculante de manera continua, tanto local como de manera remota, logrando de esta forma cumplir con el objetivo de este proyecto, ya que a partir de este parámetro se puede obtener la concentración del fluido, la cual es entregada a DCS cada vez que se encienden las bombas que impulsan el floculante hacia los TK de almacenamiento.

Los resultados son acordes a lo que la compañía espera y mediante el funcionamiento del equipo es posible tomar acciones para corregir la concentración del floculante en caso de que su variación sea mucha respecto a lo deseado, puesto que el equipo realiza el cálculo de la concentración y la envía a DCS directamente. Además, el equipo ayuda a disminuir el personal en terreno, lo cual va acorde con el propósito de la compañía de disminuir la incidentabilidad, lo que a su vez aumenta la productividad, puesto que el personal de laboratorio utiliza el tiempo extra en otros procedimientos.

Finalmente, los mantenimientos preventivos necesarios para el viscosímetro son sencillos y fáciles de aplicar, los cuales no son requeridos a diario. Esto se alinea a la estrategia de simpleza que tiene la compañía, siendo un proyecto que facilita la tarea de los operadores y que con el tiempo puede implementarse en otras líneas de floculantes. Además, es un comienzo para la automatización del proceso de preparación de floculante, el cual puede proseguir con una segunda etapa, en la cual se realice un control en la bomba dosificador para que vaya ajustando de forma automática su dosificación de floculante en polvo, con el fin de que la preparación tenga la concentración adecuada y se regule sin necesidad del operador.

7. Conclusiones

La compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, no cuenta con un instrumento capaz de entregar la concentración del floculante, la cual no se puede medir de forma directa y es necesario obtenerla por medio de la viscosidad, esto se debe a las propiedades del floculante que es muy reactivo a las condiciones en que se manipula. A su vez, por la ubicación en que se encuentra la compañía, se están llevando a cabo diversos proyectos con el fin de mejorar la utilización y reutilización de aguas en una zona de escasez hídrica, por lo que la compañía tiene su mirada puesta en diversos proyectos que mejoren estos temas.

El proyecto realizado consta de diversas etapas, comenzando con la gestión de un instrumento de medición de viscosidad que viene desde Francia, pasando por la instalación de la tubería, el conexionado eléctrico, la conexión a la red e integración a DCS. Otro de los puntos principales consta en entender el proceso metalúrgico del floculante, desde su preparación hasta el envío a los espesadores, con el fin de lograr suplir la necesidad que se tiene por parte del área de operaciones, esta corresponde a mantener la concentración del fluido en los valores óptimos. Para lo que es necesario tener una viscosidad real de aproximadamente 38[cP], puesto que para esta viscosidad la concentración tiene un valor de 3.5 [g/l]. Sin embargo, debido a que el floculante al ser un polímero muy reactivo a las variaciones de presión y de temperatura, el equipo realiza de forma automática correcciones dependiendo de estos dos parámetros, entregando valores de viscosidad corregida de aproximadamente 73[cP].

7.1. Aportes y beneficios asociados

El gran aporte que entrega el desarrollo de este proyecto a la compañía, corresponde a la disminución de riesgos en el proceso de toma de muestras de floculante madre. Puesto que un proceso totalmente manual, ahora se realiza por medio de un equipo capaz de enviar los datos directamente a DCS y de forma continua. La disminución asociada a riesgos e incidentabilidad es el foco principal de la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi, la cual tiene los índices más bajos en estos temas y espera seguir mejorando con el tiempo. Es aquí donde este proyecto pega fuertemente, ya que se disminuye el personal en terreno, disminuyendo los riesgos asociados.

A su vez, el proceso de preparación de floculante madre se encuentra poco automatizado, lo cual incurre en la disminución de la productividad, al tener que tomar las muestra de forma manual para lograr saber si las concentraciones están correctas. Esto lo vuelve un proceso lento e inexacto, que esta sometido al constante error humano. Por lo que el aporte entregado en la disminución de estos errores humanos y en mejorar la detección de concentraciones que no están en sus puntos óptimos, es una gran mejora para el proceso, quedando pendiente hacer uso de la viscosidad para automatizar el proceso de preparación de floculante.

Con las mejoras realizadas al sistema, cada vez que las bombas que envían el floculante a los

tanques de almacenamiento se enciendan, se podrá medir la concentración de la preparación y tomar acciones rápidas para mejorar estos parámetros, en caso de que el fluido no se encuentre en los valores óptimos. Como se ha mencionado, las bombas entran en funcionamiento cada 3 horas (aproximadamente), por ende se logra aumentar de 3 mediciones por semana, a casi 8 mediciones por día, manteniendo bajo control la preparación de floculante.

Este proyecto se alinea desde el Ciclo de Gestión de Riesgo con la Disciplina, la Sustentabilidad y la Simpleza, al permitir optimizar la labor de tomas de muestras del personal de laboratorio, por medio de un equipo que entrega muestras continuas sin requerir de un operador en terreno, además de tener mantenimientos preventivos, sencillos y de fácil acceso.

La compañía tiene como foco la transformación digital, para lograr llegar a un algoritmo maestro capaz de mantener todos sus procesos bajo control y con el mejor rendimiento. Para lograr esto, se están implementando distintas tecnologías capaces de mejorar los sistemas, como es la automatización, robótica, data lake, gemelos digitales, entre otras. Por lo que este proyecto contribuye con el propósito de la compañía.

El área en que se encuentran las operaciones de la compañía, es una zona de escasez hídrica por lo que constantemente se buscan formas de disminuir el consumo de agua y reutilizar la de los procesos, por lo que al preparar un floculante óptimo, se aporta un poco más a la recuperación de agua al mejorar el proceso de espesamiento (junto con otros procedimientos que está implementando la compañía).

7.2. Trabajo futuro

El proyecto realizado es la primera parte de la automatización del proceso de preparación de floculante, puesto que al tener las mediciones de concentración de forma remota, rápida y continua, los valores se pueden llevar a un sistema de control que permita retroalimentarse del proceso e ir controlando la dosificación de floculante en polvo para que la concentración mejore.

Para finalizar, el presente proyecto logra cumplir con el objetivo principal y los objetivos secundarios planteados, al posibilitar una mejor preparación y adición de floculante mediante una medición de viscosidad en línea, para lo cual se colabora en las diversas tareas de instalación, puesta en marcha, calibración e integración del sistema a DCS. Además de elaborar la documentación del proceso, operación, mantención e integración del sistema.

Bibliografía

[1] Codelco. Glosario.

[2] Bird, R. B., Stewart, W. E., Lightfoot, E. N. Fenómenos de Transporte (2a ed.), 2006.

[3] Rheonics. Mediciones de reología en tiempo real de polímeros fundidos. SRV1.

[4] Rheonics. SRV, WIDE VISCOSITY RANGE INLINE PROCESS VISCOMETER. SRV2.

[5] Cambridge Viscosity. In-Line Viscometer 372 Flow Through Sensor. V372.

[6] Anton Paar. In-Line Viscometer L-VIS 510 /L-VIS 520 Ex. L-VIS.

[7] Saladino, M. Integración de la Electrocoagulación en Celdas de Combustión Microbiana Final. Floculante1.

[8] Pilar. S. Alternativas de Solución Proyecto de Titulación, 2023. Alternativas

[9] Pilar. S. Alternativa Seleccionada Proyecto de Titulación, 2023. Seleccion

[10] Comisión Chilena del Cobre, Análisis del mercado de insumos críticos en la minería del cobre, 2021. Analisis del Mercado.

[11] SNF CHILE. Cómo Maximizar la Recuperación de Agua en los Espesadores de Relaves. Webinar Relaves.

[12] BASF. Mining Solutions. Innovative Solutions for Solid Liquid Separation. Rheomax.

[13] Fernández, R. Ibarra, J. Tesis, Optimización en la Recuperción de Agua de los Relaves de Minerales Concentrados a través de un Espesador en Pasta en una Planta Concentradora de Minerales, 2013. Tesis 1.

[14] TEFSA. OPTIFLOC, CONTROL AUTOMÁTICO DE DOSIFICACIÓN DE FLOCULANTES Y REACTIVOS. OPTIFLOC.

[15] Vera, F. Tesis, Aumento de Porcentaje de Sólido de Descargade los Espesadores de Relave a través de la Metodología Full Potencial en Minera Los Pelambres, 2019. Tesis 2.

[16] Páez, O. Norma ISA. ISA 1.

[17] SIMBOLOGÍA Y DIAGRAMAS DE INSTRUMENTACIÓN: NORMAS ISA. ISA 1.

[18] ANDRITZ. ADVANCED CONTROL EXPERT (ACE), OPTIMIZED SOLUTIONS FOR THE MINING INDUSTRY, 2020. ACE MINING INDUSTRY.

[19] ANDRITZ. ACE (Advanced Control Expert), Optimization solutions for recaust systems, 2014. Optimization solutions.

[20] SNF. Instructions manual FLOQUIP VML. Manual FLOQUIP VML.

[21] SNF. Inline Viscometer VLM.

[22] NETZSCH. Operating and Maintenance Instructions, 2015. Manual FLOQUIP VML.

A. Anexos

A.1. Diagramas P&ID

En la presente sección se entregan los diagramas P&ID del proceso, para poder verlos se adjuntan los links en formato pdf y dwg, este último para verlos directamente de AutoCAD.

- En los siguientes links, se presenta el P&ID de los mezcladores en formato pdf y en formato dwg.
- En los siguientes links, se presenta el P&ID de los tanques TK016 y TK017 hacia los espesadores en formato pdf y en formato dwg.
- En los siguientes links, se presenta el P&ID del TK2601 hacia los espesadores en formato pdf y en formato dwg.

A.2. Cotizaciones

La primera cotización, que se observa en la Figura A.1, corresponde a la realizada por SNF donde se observa el valor del viscosímetro, con sus respectivos repuestos (USD 126.000), más la ingeniería avanzada, comisionamiento y puesta en marcha, puesto que SNF se encarga de todo el proceso (USD 23.500). De los costos asociados, se tiene un total de USD 149.500, los cuales se entregan en dolares debido a que el equipo proviene del extranjero.

SNF CHILE S.A.

PROPUESTA Nº 3009/21-da R2

SANTIAGO, 09 de mayo del 2022

Señores
MINERA Collahuasi
Presente

ATN.: Sr. Gonzalo Reyes

REF.: Propuesta VLM Viscometer

Propuesta Comercial

ITEM	Cantidad	Descripción	Precio Unitario USD, neto	Precio total USD, neto
1	1	Suministro Viscometer: 110 V power supply and MODBUS TCP communication	125.000	125.000
2	PI	Repuestos Stator fro pump Mechanical seal	 380 950	 380 950
3	1	Ingeniería avanzada (3) semanas	4.500	4.500
4	1	Comisionamiento (3) días	5.500	5.500
5	1	Puesta en marcha (3) días	5.500	5.500
6	1	Se considera (4) viajes aéreos por dos ingenieros para cada visita: Desarrollo de ingenieía ,, supervisión montaje, comisionamiento y puesta en marcha	8.000	8.000

Figura A.1: Cotización entregada por SNF y aceptada por CMDIC.

La cotización de las Figura A.2 y A.3, corresponde a la realizada por la empresa PRORED ZN, la cual esta encargada de las conexiones de energía y comunicaciones. Esta empresa tiene contratación directa con CMDIC, por lo que una vez aprobadas sus cotizaciones, el dinero se descuenta de los fondos anuales que se entregan para el contrato con ellos. Los costos asociados a energía y comunicación son de CLP 3.918.117, los cuales se entregan en pesos chilenos.

PRORED ZONA NORTE

PRORED ZONA NORTE
RUT: 76.681.721-1
DIRECCION: Bolívar 202 Oficina 606 Edificio Finanzas | IQUIQUE
contacto@proredzn.com | www.proredzn.com

PRESUPUESTO
| CMDIC-23-027-V2

Fecha :	03 mayo 2023
Presupuesto :	CMDIC-23-027-V2
Descripción Corta :	Habilitar viscosímetro planta CAL
Solicitante :	Samuel Morgado
Cliente Final :	Gonzalo Reyes
Responsable Levantamiento :	NO APLICA
ORDEN DE COMPRA :	VPEO0254
# Requerimiento :	0

#	Artículo & Descripción	Categoría	Cant.	Valor Unitario	Valor Neto
1	ODF DIN RAIL BOX 6F ST OM1 FULL KIT ROP	Insumos	2 CU	54.000	108.000
2	JUMPER DUPLEX ST-ST 9/125 SM LSZH YELLOW 2m	Insumos	6 CU	7.425	44.550
3	FO 12F MM 62.5/125 TIGHT BUFFERED INTERLOCKING ARMOURED	Insumos	80 M	10.733	858.640
4	CORDON 3 X 2,5 MM (H05VV-F)	Materiales	115 M	2.100	241.500
5	GABINETE POLIESTER (500x400x200)	Materiales	1 CU	203.400	203.400
6	RIEL DIN	Materiales	1 M	4.202	4.202
7	FERRETERIA	Materiales	1 CU	75.000	75.000
8	SUPERVISOR TERRENO	Servicios Profesionales	36 HH	19.437	699.732
9	TECNICO TERRENO	Servicios Profesionales	72 HH	14.815	1.066.680

Figura A.2: Primera parte de la cotización entregada por PRORED ZN y aceptada por CMDIC.

#	Artículo & Descripción	Categoría	Cant.	Valor Unitario	Valor Neto
10	CAMIONETA	Logística y Operaciones	3 DIA	57.955	173.865
11	COMBUSTIBLE	Logística y Operaciones	3 DIA	17.043	51.129
12	GASTOS GENERALES (VPEO0254)	Gastos Generales	9 RECURSOS X DÍAS	43.491	391.419
			Total Neto		**$3.918.117**

Importe en letras: ***Tres millones nove-cientos dieciocho mil ciento diecisiete***

Figura A.3: Segunda parte de la cotización entregada por PRORED ZN y aceptada por CMDIC.

La última cotización realizada, corresponde a la instalación de tubería y montaje del equipo en terreno. Para esto se cotiza con la empresa Hintek, la cual entrega el costo que se observa en la Figura A.4. Además, esta contempla las aislaciones térmicas requeridas y el servicio de Hot tapping, puesto que se debe realizar la perforación a la tubería mientras esta sigue en funcionamiento con floculante a presión por dentro de ella. El costo asociado a la instalación de tuberías junto a la realización del Hot tapping es de CLP 69.925.103, los cuales son entregados en pesos chilenos.

Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi SCM

SERVICIO PIPELINE VISCOSIMETRO PLANTA DE REACTIVOS

FORMULARIO ECO-01

RESUMEN GENERAL DE LA OFERTA ECONOMICA

	COMPONENTE	PRECIO EN CLP$
A	PARTIDAS A SUMA ALZADA	
A.1	MANTENCION INSTALACION DE FAENAS	$ 378,900
A.1.1	Instalación de Faenas	$ 378,900
A.1.2	Movilización	$ -
A.1.3	Desmovilización	$ -
A.2	Gastos Generales (Indicar % c/r al Costo Directo A1+B)	$ 19,191,706
A.3	Utilidades (Indicar % c/r al Costo Directo A1+B)	$ 6,617,400
	TOTAL PARTIDAS A SUMA ALZADA	$ 26,188,006
B	PARTIDAS A PRECIOS UNITARIOS	
B.1	MONTAJE Y CONTRUCCION: 05 DIAS | 360 H/H	$ 13,140,580
B.2	AISLACION TERMICA CAÑERIAS: 03 DIA | 180 H/H	$ 6,283,856
B.3	SERVICIO HOT TAPPING LINEA 6" FLOCULANTE: INCLUYE ESPECIALISTA Y EQUIPO : 06 DIAS | 336 H/H	$ 22,592,216
B.4	PUESTA EN MARCHA 02 dias | 72 H/H	$ 1,720,445
	TOTAL PARTIDAS A PRECIOS UNITARIOS	$ 43,737,097
	TOTAL PARTIDAS A PRECIOS UNITARIOS	$ 69,925,103

HINTEK SPA		05-abr
PROPONENTE	FIRMA	FECHA

Figura A.4: Cotización entregada por Hintek y aceptada por CMDIC.

A.3. Tablas DCS

A continuación, se puede observar la tabla entregada a DCS por los programadores de Francia, donde se observan las variables de lectura y escritura. En su mayoría, estas variables son de lectura, puesto que el instrumento envía datos para ser visualizados, las únicas variables de escritura corresponde a variables de start, cancelar, guardado, selección remoto y activación de bomba, con el fin de que DCS tenga los comandos necesarios para hacer funcionar el equipo. En el siguiente link, se puede ver en mejor calidad el archivo.

	VISCOMETER IP : 192.168.0.11:502											
	NAME	DESCRIPTION	DATA TYPE	ADDRESS		ACCESS	Holding Register			DCS TAG	PLC Tag	
				Word	Bit							
PLC VISCOMETER TO DCS	Visco-Coef-Y	Viscometer measured shear rate	Real	40000		R	0		MSB	150-VISC01-Coef-Y		
				40001			1		LSB			
	Viscosity-1	Viscosity at measured shear rate	Real	40002		R	2		MSB	150-VISC01-Viscosity-1		
				40003			3		LSB			
	Viscosity-2	Viscosity at shear rate set in PLC (Visco-Coef-Y2)	Real	40004		R	4		MSB	150-VISC01-Viscosity-2		
				40005			5		LSB			
	Visco-pressure	Coil differential pressure	Real	40006		R	6		MSB	150-VISC01-pressure		
				40007			7		LSB			
	Visco-pressure-F	Filter differential pressure	Real	40008		R	8		MSB	150-VISC01-pressure-F		
				40009			9		LSB			
	Visco-Coef-Y2	Shear rate set in PLC	Real	40010		R	10		MSB	150-VISC01-Coef-Y2		
				40011			11		LSB			
	Visco-Coef_N	n coef od power law	Real	40012		R	12		MSB	150-VISC01-Coef N		
				40013			13		LSB			
	Visco_Flow	Viscometer Flow	Real	40016		R	16		MSB	150-VISC01-Flow		MosbusTCP Master : 192.168.0.10
				40017			17		LSB			PLC Viscometer : 192.168.0.11
	Visco_Temp	Viscometer Temperature	Real	40018		R	18		MSB	150-VISC01-Temp		HMI Viscometer : 192.168.0.20
				40019			19		LSB			
		Drive Speed	Real	40020		R	20		MSB	150-VISC01-DriveSpeed	DB HMI.Drive command Hz	
				40021			21		LSB			
		Visco 3 (corrected by temperature)	Real	40022		R	22		MSB	150-VISC01-Visco-3	DB Calcul V with Yoperator.V YoperatorCorrectedbyTemp	
				40023			23		LSB			
				40024		R	24			disponible		
				40025		R	25			disponible		
				40026		R	26			disponible		
				40027		R	27			disponible		
		Concentration	Real	40028		R	28		MSB	CONCENTRATION	DB DCS CONCENTRATION	
				40029			29		LSB			
		Digital Input	Int	40030		R	30			Digital Input	DB DCS DIGITAL INPUT	
		Fault Register 1	Int	40031		R	31			Fault Register 1	DB DCS FAULT REG 1	
		Fault Register 2	Int	40032		R	32			Fault Register 2	DB DCS FAULT REG 2	
		Fault Register 3	Int	40033		R	33			Fault Register 3	DB DCS FAULT REG 3	
							38					
							39					
							40					
							41					
							42					
							43					
							44					
							45					
							46					
							47					
							48					
							48					
							48					
							48					
		Coil Diameter	Real			R	50			150-VISC01-Coil-Diameter	DB Calcul V with Flow and Pressure.Coil diameter	
							51					
		Coil Length	Real			R	52			150-VISC01-Coil-Length	DB Calcul V with Flow and Pressure.Coil length	
							53					
		ViscosityTemp mode	Int			R	54			150-VISC01-Temp-mode	DB HMI.Viscosity byTempMode	
		Calcul Mode (Manu, Semi-Auto, Auto)	Int			R	55			150-VISC01-Calcul-mode	DB HMI.Viscosity Calculation Mode	
		SP_Flow1_calculMode	Real			R	56			150-VISC01-SP Flow1 calmode	DB Calcul V with Flow and Pressure.Point[1].Flow	
							57					
		SP_Flow2_calculMode	Real			R	58			150-VISC01-SP Flow2 calmode	DB Calcul V with Flow and Pressure.Point[2].Flow	
							59					
		DeltaP_found_Flow1_calculMode	Real			R	60			150-VISC01-F1 DeltaP found	DB Calcul V with Flow and Pressure.Point[1].deltaP	
							61					
		DeltaP_found_Flow2_calculMode	Real			R	62			150-VISC01-F2 DeltaP found	DB Calcul V with Flow and Pressure.Point[2].deltaP	
							63					
		Flow1_Tol_calculMode	Int			R	64			150-VISC01-Flow1_Tol	DB_HMI.Flow_P1_Stab_Tol	
		Flow2_Tol_calculMode	Int			R	65			150-VISC01-Flow2 Tol	DB HMI.Flow P2 Stab Tol	
		Flow1_Stab_calculMode	Int			R	66			150-VISC01-Flow1_Stab	DB_HMI.Flow_P1_Stab_Time	
		Flow2_Stab_calculMode	Int			R	67			150-VISC01-Flow2 Stab	DB HMI.Flow P2 Stab Time	
		TimeOut_calculMode	Int			R	68			150-VISC01-TimeOut	DB HMI.Time Flow Stab TimeOut	
							69					
		SP_Flow	Real			R	70			150-VISC01-SP Flow	DB HMI.Flow Setpoint	
							71					
		SP_Y2	Real			R	72			150-VISC01-SP Y2	DB Calcul V with Yoperator.Y Operator	
							73					
		Proportionnal Gain (PID Controller parameter)	Real			R	74			150-VISC01-Proportional PID	DB HMI.Proportional	
							75					
		Integral time (PID Controller parameter)	Real			R	76			150-VISC01-Integral PID	DB HMI.Integrale	
							77					
		Derivated time (PID Controller parameter)	Real			R	78			150-VISC01-Derivative PID	DB HMI.Derivative	
							79					
		PID Mode : Auto, Manu (PID Controller parameter)	Int			R	80			150-VISC01-PID Mode	DB HMI.PID Mode	
							81					
		Low Flow fault alarm threshold	Real			R	84			150-VISC01-LowFlow threshold	DB HMI.Low Flow threshold	
							85					
		Low Flow fault alarm monitoring time	Int			R	86			150-VISC01-Flow Fault Timer	DB HMI.Flow Fault Timer	
							87					
		Viscosity Tolerance for viscosity stability monitoring	Real			R	88			150-VISC01-Monit Visc Tol	DB HMI.Monit Viscosity Tol	
							89					
		Flow Tol (Preset/Value) for viscosity stability monitoring	Int			R	90			150-VISC01-Flow Stab Tol	DB HMI.Flow Stab Tol	
		Monitoring Time for viscosity stability monitoring	Int			R	91			150-VISC01-Monit Visc Time	DB HMI.Monit Viscosity Time	
		Max Value for Scaling Flow	Real			R	92			150-VISC01-Flow Max Value	DB HMI.Flow HighValue	
							93					
		Max Value for Scaling Process Temperature (Scaling parameters)	Real			R	94			150-VISC01-Process Temp Max Value	DB HMI.Process Temperature HighValue	
							95					
		Max Value for Scaling Coil Pressure (Scaling parameters)	Real			R	96			150-VISC01-Coil Pressure Max Value	DB HMI.Coil Pressure HighValue	
							97					
		Report_SampleTime	Int			R	102			150-VISC01-Report SampleTime	DB Report.Sample Time	
							103					
							104					
							105					
							106					
							107					
							108					
							109					
							110					
							111					
							112					
							113					
							114					
							115					
							116					
							117					
DCS TO VISCOMETER PLC		Start_calcul	bit	40118	1	W	118			150-VISC01-Start Calcul	DB HMI.Start Calc	
		Cancel_Calcul	bit		2	W	118			150-VISC01-Cancel Calcul	DB HMI.Cancel Cycle Calc	
		SaveBuffer	bit		3	W	118			150-VISC01-SaveBuffer	DB Report.CopyBufferFile Script ManuTrigger	
		Remoto local	bit		4	W	118			Selector Remoto Local	DB DCS REM LOCAL	
		CMD Pump	bit		5	W	118			Comando Activacion Bomba	DB DCS CMD PUMP	
Modbus TCP Management		Swap_TestValue	Real			R	120			150-VISC01-Swap_TestValue		
							121				only for comissioning	

A.4. Esquemáticos VML

Para poder observar las conexiones internas del tablero de control del viscosímetro, se sube al siguiente link, el diagrama eléctrico, donde se muestran los componentes del PLC para la comunicación, el HMI y la energía.

A su vez, en el siguiente link, se puede observar de forma detallada los componentes del viscosímetro.

A.5. Indicador de Alarmas

En esta sección se puede observar, una traducción al español de las alarmas y fallas en el equipo, donde las fallas resaltaran en color rojo y las alarmas en color anaranjado. A su vez, se puede observar los mensajes presentes en la página de informe, los cuales alertan de alguna falla o simplemente entregan alarmas respecto a alguna situación.

Traducido del inglés al español - www.onlinedoctranslator.com

FALLA (texto blanco sobre fondo rojo)	
BOMBA: FALLA DE TRANSMISIÓN	- Fallo en el variador de velocidad de la bomba. - Consulte la documentación del variador de velocidad en la sección 13.
BOMBA: FALLA DEL DISYUNTOR (3T1)	- Disyuntor de la bomba abierto. - Esto podría deberse potencialmente a una sobrecarga de la bomba. Verifique si las válvulas ubicadas en la descarga de la bomba no están cerradas. Consulte también la documentación de la bomba en la sección 13.
CAUDALÍMETRO: FALLA DEL DISYUNTOR (4Q3)	- Se ha abierto el disyuntor del caudalímetro. - Esto podría deberse a un cortocircuito en la fuente de alimentación del caudalímetro. Compruebe el cableado del caudalímetro.
BOMBA: FALLA DE RESPUESTA	- Esto se debe a una incoherencia entre la orden dada a la bomba y el estado real de la bomba.
FALLA DE FLUJO BAJO	- Bajo caudal en la unidad, cuando la bomba está funcionando. - Esto podría deberse a: . Entrada o salida dejada cerrada. . No fluye fluido en la línea principal a la que está conectado el viscosímetro.
BOMBA: FALLO DE TEMPERATURA "BOMBA"	- Alarma de alta temperatura en la bomba. - Consulte la documentación de la bomba en la sección 13.

ALARMAS (texto blanco sobre fondo naranja)	
VISCOSIDAD NO ESTABLE	- El valor de la viscosidad medida varía más que el valor de 'Tolerancia de viscosidad' - Consulte la sección 8.5 'Recálculo de la viscosidad'
FLUJO NO ALCANZADO O NO ESTABLE	- Valor de caudales P1/P2 no alcanzado o inestable durante la secuencia de cálculo automático - Esto podría deberse a: . Entrada o salida dejada cerrada. . No fluye fluido en la línea principal a la que está conectado el viscosímetro.
PARÁMETROS DE CÁLCULO AUTOMÁTICO INCOMPLETOS	- Al menos un parámetro no está completado en la página 'Viscosidad (datos de cálculo)' - Por favor complete todos los parámetros
EL VALOR PREESTABLECIDO DEL FLUJO ES IGUAL A CERO	- El punto de consigna del caudal es igual a 0 - Introduzca un caudal entre 5 y 20 l/h
FALTA AL MENOS UN PARÁMETRO	- Al menos un parámetro no está completo en la página 'Parámetros' - Por favor complete todos los parámetros

MENSAJES en la PÁGINA 'INFORME'	
	Mensajes de estado
	Tampón de medición
Esperar	No hay escritura en el buffer: la bomba no está funcionando
En curso	Escritura en curso: la bomba está funcionando
Hecho	Escritura realizada (cuando la bomba se detiene)
Error	Consulte la sección siguiente 'MENSAJES DE LA CAUSA RAÍZ'
	Guardar buffer
Esperar	No hay solicitud de ahorro
En curso	Guardando en progreso
Hecho	Guardado hecho
Error	Consulte la sección siguiente 'MENSAJES DE LA CAUSA RAÍZ'
	Descarga USB
Esperar	Sin solicitud de transferencia
En curso	Transferencia en curso
Hecho	Transferencia realizada
Error	Consulte la sección siguiente 'MENSAJES DE LA CAUSA RAÍZ'
	Mensajes de causa raíz
	Tampón de medición
Error: No hay tarjeta SD en el panel	Asegúrese de que la tarjeta SD esté insertada en la parte posterior de la pantalla
	Guardar buffer
Error: No hay tarjeta SD en el panel	Asegúrese de que la tarjeta SD esté insertada en la parte posterior de la pantalla
Error: No hay más datos	No hay datos disponibles en el buffer
	Descarga USB
Error: No hay más archivos para transferir	No hay archivos en la tarjeta SD
Error: No hay llave USB conectada	Conecte una tarjeta de memoria en el panel de control

SNF SAS
ZAC de Medios
42163 Andrézieux Cedex
Francia
www.snf-group.com