



**Diseño de sistema automatizado para el aprovechamiento de lodos residuales en
PTAR y PTAP de Veolia Tunja.**

David Santiago Parra Cubides

21131618565

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

2023

**Diseño de sistema automatizado para el aprovechamiento de lodos residuales en
PTAR y PTAP de Veolia Tunja.**

David Santiago Parra Cubides

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electromecánico

Director (a):

Ingeniero Miller Oswaldo Cely Carreño

Línea de Investigación:

Automatización industrial.

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Tunja, Colombia

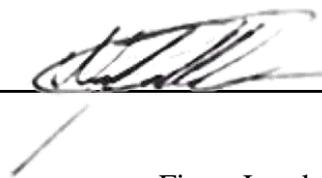
2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado:
Diseño de sistema automatizado para el aprovechamiento
de lodos residuales en PTAR y PTAP de Veolia Tunja,
Cumple con los requisitos para optar al título de Ingeniero Electromecánico.

Firma del Tutor

Ingeniero Miller Oswaldo Cely Carreño



Firma Jurado 1

Firma Jurado 2

Tunja, 9 de mayo de 2023.

(Dedicatoria)

*El presente trabajo de grado se lo dedico a mi mamá,
Gladis Cubides Rodríguez, agradeciéndole por cada enseñanza,
por formarme como persona y por cada palabra de apoyo
en los momentos que más lo necesité.*

Agradecimientos

Primero que todo a Dios por las bendiciones recibidas. A la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P. por permitirme desarrollar este proyecto en sus instalaciones de manera satisfactoria, a la ingeniera Claudia Rodríguez jefa de la PTAR, a la ingeniera Alejandra Rojas jefa de la PTAP, al ingeniero Javier Martínez gerente de proyectos especiales, al ingeniero César Castro coordinador de mantenimiento electromecánico y a la ingeniera Johana Beltrán gerente de operaciones, por la colaboración, apoyo técnico y gestión de los recursos necesarios durante la ejecución del proyecto.

Tabla de contenido

Resumen.....	19
Abstract.....	20
1- Introducción.....	21
Antecedentes.....	23
2- Planteamiento del problema	25
3- Objetivos.....	27
3.1 Objetivo general	27
3.2 Objetivos específicos.....	27
4- Justificación.....	28
5- Marco de referencia.....	29
5.1 Estado del arte	29
5.1.1 Aprovechamiento de lodos planta de tratamiento de aguas residuales municipio de Funza, como insumo de cultivo y mejoramiento del suelo.....	29
5.1.2 Propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo.....	30
5.1.3 Biosólidos de tratamiento de aguas residuales domésticas, como adiciones en la elaboración de ladrillos cerámicos.	30
5.1.4 Elaboración de ladrillos artesanales mediante el aprovechamiento de lodos resultantes del proceso de depuración en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Quitumbe31	
5.1.5 Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos.....	32
5.1.6 Prototipado de ladrillos a partir del lodo generado en la planta Sierra Chiquita - Montería. Veolia Aguas de Montería S.A. E.S.P.....	32
5.1.7 Diseño de la automatización del proceso de producción de materiales de construcción a base de arcilla para la Ladrillera El Rubí S.A.S Tunja.....	32
5.2 Marco teórico	34
5.2.1 Funcionamiento de la PTAP Veolia aguas de Tunja S.A. E.S.P. (planta de tratamiento de agua potable)	34

5.2.2 Funcionamiento de la PTAR Veolia aguas de Tunja S.A. E.S.P. (planta de tratamiento de aguas residuales)	39
5.3 Marco conceptual	45
5.3.1 Deshidratador centrífugo:	45
5.3.2 Automatización Industrial:.....	46
5.3.3 Control de procesos (PLC):.....	46
5.3.5 Sensor Industrial:	47
5.3.6 Electroválvula	47
5.3.7 Máquina extrusora.....	47
5.3.8 Laminadora	47
5.3.9 Mezclador para arcilla:.....	47
5.3.10 Dosificador de arcilla:	48
5.3.11 Macromedidor:	48
5.3.12 Banda transportadora	48
Diseño metodológico	49
6-Desarrollo del Proyecto	52
6.1 Análisis de laboratorio para estudio de características fisicoquímicas de los lodos residuales	52
6.2 Elaboración de Diagrama P&ID	86
6.3 Configuración de variables de control en software Schneider electric e indusoft web studio	91
7 Analisis de Resultados	116
8- Conclusiones.....	130
9- Recomendaciones.....	131
10- Anexos.....	132
11- Referencias Bibliográficas	137

Lista de figuras

Figura 1. Oferta lab. 092022-06. López Hermanos S.A.S.....	53
para Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P	53
Figura 2. Oferta lab. 092022-06. López Hermanos S.A.S. para Veolia Aguas de Tunja S.A.	
E.S.P	53
Figura 3. Oferta lab. 092022-06. López Hermanos S.A.S. para Veolia Aguas de Tunja S.A.	
E.S.P	54
Figura 4. Oferta lab. 092022-06 López Hermanos S.A.S. para Veolia Aguas de Tunja S.A.	
E.S.P	55
Figura 5. Ensayo gravedad específica PTAP.....	58
Figura 6. Ensayo gravedad específica PTAP	59
Figura 7. Ensayo gravedad específica proyecto “propuesta para el aprovechamiento de los	
lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas Startwater como materia prima en	
la fabricación de ladrillo”.....	59
Figura 8. Ensayo límites de consistencia PTAP	60
Figura 9. Ensayo límites de consistencia PTAR.....	61
Figura 10. Ensayo límites de consistencia proyecto “propuesta para el aprovechamiento de	
los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas Startwater como materia prima	
en la fabricación de ladrillo”.....	61

Figura 11. Ensayo equivalente de arena PTAP	62
Figura 12. Ensayo equivalente de arena PTAR	62
Figura 13. Análisis granulométrico por hidrómetro PTAP	63
Figura 14. Análisis granulométrico por hidrómetro PTAR.....	64
Figura 15. Ensayo granulométrico por hidrómetro proyecto “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas Startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo”.....	65
Figura 16. Análisis granulométrico por tamiz PTAP	66
Figura 17. Análisis granulométrico por tamiz PTAR.....	66
Figura 18. Ensayo granulométrico por tamiz proyecto “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas Startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo”.	67
Figura 19. Tablas militar.....	82
Figura 20. Tablas militar (inspección reducida).	83
Figura 21. Cálculo de tamaño de la muestra.	83
Figura 22. Cálculo de tamaño de la muestra.	84
Figura 23. Cálculo de tamaño de la muestra.	84
Figura 24. Diseño de P&ID primera etapa.	86

Figura 25. Diseño de P&ID segunda etapa.....	87
Figura 26. Diseño de P&ID tercera etapa.....	88
Figura 27. Diseño de P&ID tercera etapa.....	89
Figura 28. Diseño de P&ID cuarta etapa.....	90
Figura 29. Controlador PLC Schneider Electric m221.	95
Figura 30. Módulo de expansión salidas digitales PLC Schneider Electric m221.	96
Figura 31. Módulo de expansión entradas analógicas PLC Schneider Electric m221.	96
Figura 32 Módulo de expansión entradas analógicas PLC	97
Figura 33. Esquema de conexiones PLC Schneider Electric m221.	97
Figura 34. PLC Schneider Electric m221.	98
Figura 35. Diseño de SCADA sistema de alimentación de aguapara ladrillera de Veolia Tunja.....	99
Figura 36. Diseño de SCADA mezclador para ladrillera de Veolia Tunja.....	100
Figura 37. Diseño de SCADA tanques de almacenamiento y dosificador de insumos para mezclador ladrillera de Veolia Tunja.	100
Figura 38. Diseño de SCADA laminador y extrusora para ladrillera de Veolia Tunja.	101
Figura 39. Diseño de SCADA extrusión y corte de bloques para ladrillera de Veolia Tunja.	

Figura 40. Máximo nivel lodo PTAR	102
Figura 41. Máximo nivel lodo PTAP.....	102
Figura 42. Máximo nivel arcilla.....	103
Figura 43. Peso mínimo lodo PTAR.....	103
Figura 44. Peso mínimo lodo PTAP	104
Figura 45. Peso mínimo arcilla.....	104
Figura 46. Nivel máximo dosificador.....	105
Figura 47. Nivel mínimo dosificador.....	105
Figura 48. Nivel máximo dosificador	106
Figura 49. Nivel mínimo agua.....	106
Figura 50. Alerta de revisión de bomba.....	107
Figura 51. Alerta de revisión de bomba.....	107
Figura 52. Encendido de equipos proceso PTAR.....	108
Figura 53. Variables encendido de equipos proceso PTAR	109
Figura 54. Dosificación de materiales.....	110
Figura 55. Dosificación de materiales.....	110
Figura 56. Encendido de banda T.-D-100, extrusora y cortadora.....	111

Figura 57. Señal de finalización de proceso PTAR	111
Figura 58. Señal de finalización de proceso.....	114
Figura 59. Elementos de control de PID entrada de agua al mezclador	115
Figura 60. Encendido de bomba de llenado de tanque de agua.....	115
Figura 61. Ensayo de absorción trabajo “uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos”.	118
Figura 62. Ensayo de absorción trabajo “resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales”.....	118
Figura 63. Ensayo de absorción trabajo “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo”.....	119
Figura 64. Ensayo de resistencia de proyecto “uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos”.	123
Figura 65. Ensayo de resistencia de proyecto “resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales”....	124
Figura 66. Ensayo de resistencia de proyecto “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo”.....	124

Lista de tablas

Tabla 1. Lista de Instrumentos.....	91
Tabla 2. Lista de Maquinaria y equipamiento.	93
Tabla 3. Lista de Válvulas.....	94
Tabla 4. Símbolos PLC.....	112
Tabla 5. Resistencia a la compresión.....	116
Tabla 6. Resistencia a la compresión.....	116
Tabla 7. Porcentajes de absorción.....	116
Tabla 8. Ensayos de absorción.....	117
Tabla 9. Ensayos de resistencia.....	122
Tabla 10. Ensayos de módulo de rotura.....	127
Tabla 11. Mediciones de unidades.....	128

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Captación de agua-represa de teatinos Veolia Tunja.	34
Ilustración 2. Planta de tratamiento de agua PTAP Veolia Tunja.....	34
Ilustración 3. Torre de aireación PTAP Veolia Tunja.	35
Ilustración 4. Agitadores (floculadores) PTAP Veolia Tunja.	36
Ilustración 5. Sedimentadores PTAP Veolia Tunja.....	36
Ilustración 6. Filtros PTAP Veolia Tunja.....	37
Ilustración 7-8. Filtro prensa PTAP Veolia Tunja.	38
Ilustración 9. Planta de tratamiento de agua PTAR Veolia Tunja.	39
Ilustración 10. Rejilla auto limpiante PTAR Veolia Tunja.....	40
Ilustración 11. Desarenador PTAR Veolia Tunja.....	41
Ilustración 12. Reactores UASB PTAR Veolia Tunja.	42
Ilustración 13. Sedimentador PTAR Veolia Tunja.....	42
Ilustración 14. Tanque de aireación PTAR Veolia Tunja.....	43
Ilustración 16-17. Centrifugadora o decanter PTAR Veolia Tunja.....	44
Ilustración 18. Quemador de biogás PTAR Veolia Tunja.	44
Ilustración 19-20. Toma de muestras de lodo residual PTAP Veolia Tunja.	56

Ilustración 21-22-23. Toma de muestras lodo residual PTAR.....	56
Ilustración 24-25. Elaboración de gaveras en madera.....	69
Ilustración 26-27. Fabricación de mezclador	70
Ilustración 28. Cuarto de almacenamiento de arcilla fina ladrillera el Rubí S.A.S.....	71
Ilustración 29-30. Toma de muestra en depósito de lodo residual planta de tratamiento de agua potable PTAP Veolia Tunja.....	71
Ilustración 31. Toma de muestra de contenedor de lodo residual planta de tratamiento de agua residual PTAR Veolia Tunja.	72
Ilustración 32. Pesaje de recipiente para mezclado.	73
Ilustración 35. Mezcla de arcilla con lodo residual PTAP para ladrillos con porcentaje 80% - 20%.	74
Ilustración 36. Mezcla de arcilla con lodo residual PTAR.....	74
Para ladrillos con porcentaje 80% - 20%.....	74
Ilustración 37. Ladrillos moldeados 80% de arcilla y 20%	75
Lodo residual PTAR y PTAP.....	75
Ilustración 38-39. Fisuras en muestras por exceso de humedad.....	76
y retiro de muestras defectuosas.....	76

Ilustración 40-41. Pesaje de arcilla y lodo residual para ladrillos con porcentaje 70% - 30% con lodo residual PTAR.....	76
Ilustración 42-43. Moldeado y secado de ladrillos 70% 77	77
de arcilla y 30% lodo residual PTAR.....	77
Ilustración 44-45-46. Registros termográficos de	78
Cabinas de sopladores PTAR Veolia Tunja.	78
Ilustración 47-48. Secado adicional de ladrillos en cabinas de sopladores.	79
Ilustración 49-50. Secado natural de bloques.....	79
instalaciones de ladrillera el Rubí S.A.S.	79
Ilustración 51-52-53-54. Proceso de horneado de ladrillos en instalaciones de ladrillera el rubí S.A.S.....	80
Ilustración 55-56-57-58. Muestras de ladrillos luego de cocción	81
Ilustración 59-60. Ladrillos de lodo residual PTAP con huecos.	81

LISTA DE ANEXOS

- **Contenido de agua en muestras de suelo, roca y mezclas de suelo agregado:..... 132**
- **Informe de ensayo: ensayo de azul de metileno PTAP..... 133**
- **Informe de ensayo: ensayo de azul de metileno PTAR 133**
- **Orden de servicio análisis de laboratorio:..... 134**
- **P&ID ladrillera PTAP-PTAR Veolia Tunja: 135**
- **SCADA ladrillera PTAP-PTAR Veolia Tunja: 136**

Lista de Símbolos y Abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
<i>kg</i>	kilogramo	g	Unidad de masa
<i>l</i>	litro	l	Unidad de volumen
gal	galón	l	Unidad de volumen
MPa	Mega pascal	MPa	Unidad de fuerza
ml	mililitro	l	Unidad de volumen
cm	centímetro	m	Unidad de longitud

Resumen

En el documento de trabajo de grado que se presenta a continuación, se diseñó una planta ladrillera automatizada para la fabricación de ladrillos usando como insumo los lodos residuales generados en las plantas de tratamiento PTAP y PTAR de la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P.

Se efectuaron análisis de laboratorio para conocer la composición y características fisicoquímicas de los lodos residuales, se estudian los resultados y se definen los porcentajes de mezclas con arcilla para la fabricación artesanal de ladrillos. Posteriormente, fueron enviados a pruebas de resistencia según la norma NTC 4017, comprobando que los ladrillos del 20% de lodo residual cumplen los requisitos técnicos de aceptación de ladrillo para mampostería estructural interna descritos por la norma NTC 4205.

Con base en los resultados obtenidos, se diseñó el diagrama P&ID, SCADA y programación del PLC automatizado de la maquinaria y equipos necesarios para la producción de ladrillos a base de lodos residuales.

PALABRAS CLAVE:

Automatización, ladrillos a base de lodos residuales, SCADA, PLC, P & ID.

Abstract

In the degree work document presented below, an automated brick factory was designed to make bricks using as an input the residual sludges generated in the PTAP and PTAR treatment plants property of Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P.

Laboratory analysis were made to know the composition and physicochemical characteristics of the residual sludges, the results are studied and percentages of mixtures with clay are defined to the handmade bricks making. Subsequently, the bricks were sent to resistance test according to the NTC 4017 standard, cheking that the 20% sewage sludge bricks comply with the technical requirements acceptance for internal structural mansory bricks described by the NTC 4205 standard.

Based on the results obtained, the P&ID diagram, SCADA and automated PLC programming for the necessary machinery and equipment for the sewage sludge bricks making were designed.

KEY WORDS:

Automation, sewage sludge bricks, SCADA, PLC, P & ID, simulation.

1- Introducción

Actualmente las plantas de tratamiento de agua residual PTAP y PTAR de Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P. generan grandes cantidades de lodos residuales mensualmente (alrededor de 400 toneladas), producto del tratamiento de las aguas potables y residuales. Estos lodos requieren de un tratamiento especial y por esta razón es necesario contratar a una empresa externa que se encarga de la disposición final de los mismos. La contratación de la empresa externa Urbaser S.A.E.S.P. encargada de los residuos, le cuesta a la empresa mensualmente cerca de 60 millones de pesos COP, que pueden ser utilizados en inversión para nuevos equipos o mejora de instalaciones para garantizar la óptima calidad del tratamiento del agua.

La gestión adecuada de los lodos residuales originados de los procesos de las plantas de tratamiento agua residual y de agua potable son un aspecto de gran importancia para Veolia Aguas de Tunja S.A E.S.P., por tal razón la compañía se encuentra en la búsqueda constante de soluciones y el desarrollo de nuevos proyectos enfocados en la preservación de los recursos energéticos y ambientales que favorezcan y contribuyan al desarrollo sostenible.

En el presente trabajo de grado se propuso utilizar los lodos residuales de las plantas de tratamiento de agua PTAP (agua potable) y PTAR (agua residual) como insumo para la fabricación de ladrillos y el diseño de sistema automatizado para el aprovechamiento de estos residuos. Se han realizado investigaciones previas respecto al tema de aprovechamiento de los lodos residuales, que fueron los principales fundamentos para la ejecución del siguiente proyecto, dentro de las que se encuentran la investigación realizada en el contrato de Veolia Colombia de la planta de tratamiento de agua potable Sierra Chiquita de la ciudad de Montería, en la que se propone el uso de lodos residuales de la PTAP para fabricar ladrillos (Veolia Aguas de Montería, 2016); otra investigación es el trabajo de grado desarrollado por Xavier Orellana de la Universidad católica de Santiago de Guayaquil donde se

muestra el procedimiento experimental llevado a cabo para fabricar ladrillos artesanales con lodos residuales (León & Oswaldo, 2015) y por último el proyecto de automatización de la ladrillera el Rubí de la ciudad de Tunja (Jorge Alejandro Sánchez Niño & Javier Mateo Vargas Guerrero, 2020), que se toma como referencia para diseños de los diagramas P&ID, SCADA y programación de PLC del sistema automatizado propuesto en este documento.

Se plantea como objetivo general, el diseño de una planta ladrillera semiautomatizada que use como insumo los lodos residuales generados en las plantas de agua PTAP y PTAR. Para ello, se realizan estudios en laboratorio de la composición fisicoquímica de los lodos residuales, análisis de los porcentajes de mezclas para los ladrillos a fabricar y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio, realizar el diseño del sistema automatizado, diseño del SCADA del proceso mediante el software indusoft web studio versión 8.1 y programación del PLC de control de maquinaria, instrumentos y equipos con el uso del software de programación de Schneider Electric modicon M221.

Una vez realizados los estudios, análisis y pruebas de resistencia en laboratorio de las muestras de los ladrillos a base de lodo residual, se logra confirmar que los lodos residuales pueden ser usados para la fabricación de ladrillos con resistencias requeridas y descritas en la norma NTC 4205 (unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos).

La ejecución del presente proyecto supuso un avance importante en cuanto al estudio de soluciones sostenibles para la disposición adecuada de los lodos residuales que se generan en los procesos de tratamiento de agua de las plantas PTAP (agua potable) y PTAR (agua residual) de Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P. debido a que se pudo comprobar el uso de estos lodos residuales como potencial insumo para la elaboración de ladrillos.

Antecedentes

Dentro de la investigación se tomó como referencia el trabajo de análisis e investigación del personal de la planta de potabilización de Sierra Chiquita del contrato de Veolia Montería, nombrado “Prototipado de ladrillos a partir del lodo generado en la planta Sierra Chiquita - Montería” realizado en el año 2016. En el estudio se puede observar el procedimiento llevado a cabo para conocer el potencial del lodo residual de la planta de Sierra Chiquita - Montería (Colombia), como insumo para la fabricación de ladrillos. El documento muestra el paso a paso que se realizó y los resultados obtenidos con relación a las pruebas realizadas al material y la forma en que llevaron a cabo los procedimientos. (Veolia Aguas de Montería, 2016).

Por otro lado, para el tema de trabajo con lodos residuales de plantas de tratamiento de aguas residuales, como primera referencia se tiene el trabajo de grado de Orellana León Xavier Oswaldo de la Universidad católica de Santiago de Guayaquil, titulado “Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos”. Documento que explica los estudios realizados y el proceso para fabricar ladrillos de forma artesanal usando los lodos de plantas de tratamiento de agua residual y mezclas de arcilla en diferentes porcentajes. En el procedimiento se detallan las cantidades de las mezclas usadas y explica los resultados obtenidos, además de los diferentes usos posibles del producto terminado. (León & Oswaldo, 2015).

En cuanto al tema de automatización de procesos industriales y específicamente plantas ladrilleras, se tomó como antecedente, el trabajo de especialización en automatización industrial de Sánchez Niño Jorge Alejandro y Vargas Guerrero Javier Mateo de la Universidad Santo Tomás sede Bucaramanga, titulado “Diseño de la automatización del proceso de producción de materiales de construcción a base de arcilla para la Ladrillera El Rubí S.A.S Tunja”, donde explican de manera clara y detallada la automatización propuesta del proceso de producción de ladrillos y

bloques en dicha ladrillera de la ciudad. (Jorge Alejandro Sánchez Niño & Javier Mateo Vargas Guerrero, 2020).

2- Planteamiento del problema

Teniendo como referencia el creciente aumento de requisitos en cuanto al tema de tratamiento correcto de residuos, eficiencia energética y mitigación de impactos ambientales generados en los procesos industriales, detallados en las normas ISO 14001 (ISO (Organización Internacional de Normalización), 2015) e ISO 50001 (ISO (Organización Internacional de Normalización), 2011), la empresa Veolia Aguas de Tunja S.A E.S.P. propone e idea proyectos enfocados en la optimización de los recursos energéticos y ambientales que favorezcan y contribuyan al desarrollo sostenible.

La empresa busca alternativas en cuanto al aprovechamiento de los lodos residuales del proceso de centrifugado en la máquina del decanter en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR y prensado de lodos de la planta de tratamiento de agua potable PTAP, de acuerdo con las políticas corporativas de la empresa de preservación de los recursos, innovación y eficiencia energética en los procesos.

Con el fin de encontrar soluciones al problema, se requiere tener conocimiento detallado de la composición fisicoquímica y microbiológica de los lodos residuales mediante el estudio en laboratorios y entidades especializadas.

Actualmente, para el tratamiento de los lodos residuales, Veolia contrata a Urbaser S.A. E.S.P., empresa especializada en el manejo de estos residuos. De acuerdo con los procedimientos que la empresa contratista tiene establecidos, se recogen los lodos residuales en la sede de la PTAR de Veolia y luego los trasladan para disponer de estos como capa superior en terrazas de residuos en el relleno sanitario de la ciudad.

En cuanto a la PTAP, no se conoce en el momento con algún uso específico en el cual se puedan aprovechar los lodos residuales, de tal manera que se disponen un espacio dentro de la planta destinado para su recolección, se espera a que se endurezca el lodo y posteriormente se traslada en excavadora hacia la parte alta de la planta donde se deposita como material de relleno de suelo.

Los costos asociados con el contrato de la empresa Urbaser S.A. E.S.P. y de la excavadora, podrían ser usados en la implementación de un sistema automatizado alternativo que aproveche estos insumos y los transforme en un producto sostenible.

3- Objetivos

3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema automatizado para la fabricación de ladrillos usando como insumo los lodos residuales de los procesos de tratamiento de la PTAR y la PTAP de la empresa Veolia, ubicadas en la ciudad de Tunja.

3.2 Objetivos específicos

- Estudiar y definir el método y porcentajes de utilización de los lodos residuales para el posterior diseño del sistema de aprovechamiento.
- Diseñar el sistema automático de aprovechamiento de lodos de acuerdo con los resultados obtenidos en los estudios.
- Programar el PLC y SCADA del sistema diseñado integrando maquinaria, equipos e instrumentos necesarios para la fabricación de ladrillos.

4- Justificación

Este proyecto pretende ofrecer una alternativa sostenible para el aprovechamiento de los lodos residuales, que se desarrolle conforme con las ideologías de renovación, innovación y preservación del medio ambiente de la compañía Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P.

Se planteó diseñar un sistema automatizado para fabricar ladrillos, en el que se aproveche los lodos residuales del proceso de centrifugado en la máquina del decanter en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y el proceso de prensado de lodos de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP).

El diseño abarca un sistema automático que realice el proceso de una planta a escala de fabricación de ladrillos, tomando estos residuos como insumo.

Se contempló adicionalmente realizar pruebas del insumo para verificar condiciones técnicas del ladrillo terminado apoyándose en empresas locales dedicadas a la fabricación de este producto y laboratorios especializados que realicen los estudios de composición fisicoquímica y microbiológica de los lodos residuales.

El proyecto se enfocó principalmente en el aprovechamiento de los residuos para darles un tratamiento mucho más amigable con el ecosistema, acorde con las políticas de la compañía Veolia Aguas de Tunja, de preservación de los recursos y preservación del medio ambiente.

5- Marco de referencia

5.1 Estado del arte

Actualmente los lodos residuales se disponen en rellenos sanitarios o sitios adecuados para estos. Sin embargo, se debe respetar ciertos lineamientos de diseño para prevenir riesgos ambientales, con el fin de reducir los impactos con una disposición adecuada. (Elizabeth Tilley et al., 2018)

Con base en lo expuesto anteriormente, se han desarrollado proyectos con el fin de reutilizar y aprovechar los lodos residuales, a continuación, se describen brevemente algunos de ellos:

5.1.1 Aprovechamiento de lodos planta de tratamiento de aguas residuales municipio de Funza, como insumo de cultivo y mejoramiento del suelo.

Este proyecto fue desarrollado por los estudiantes Juan Pablo Vásquez y Gabriela Vargas de la Universidad Católica de Colombia como trabajo de grado en el año de 2018, en el cual se plantea una opción para el uso y aprovechamiento de los residuos producidos en la planta de tratamiento de agua residual de Funza (Cundinamarca), evidenciando que este material residual del proceso puede reutilizarse como subproducto de abono en plantaciones de lechuga y zanahoria, práctica por la cual se logra mitigar los daños generados al medio ambiente por la disposición inadecuada de los residuos. (Juan Pablo Vásquez & Gabriela Vargas, 2018)

5.1.2 Propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo.

Proyecto elaborado por la estudiante Marcela Muñoz Castaño de la Fundación Universitaria de América como trabajo de grado en el año de 2016, en el cual se planteó usar los lodos producidos en plantas de tratamiento de aguas crómicas mediante el proceso STARTWATER como material sustituto para la elaboración de ladrillos, proyecto mediante el cual se evidenció que la gran concentración de metales pesados como el hierro, se considera como punto de partida para seleccionar los porcentajes de las mezclas M1, M2 y M3 de los ladrillos elaborados en esta propuesta. Considerando que la matriz de hierro presentara alta estabilidad, favoreció a la mejora de las características físicas de los ladrillos aumentando los valores de resistencia a compresión, resultando valores promedio de 51,9 MPa de resistencia y el Ecobrick 54,4 MPa (Marcela Muñoz Castaño, 2016)

5.1.3 Biosólidos de tratamiento de aguas residuales domésticas, como adiciones en la elaboración de ladrillos cerámicos.

Natalia Fuentes Molina, Samir Alfonso Isenia León y José Gregorio Ascencio Mendoza publican el artículo de investigación en 2017, donde realizan recolección de residuos biosólidos del proceso de tratamiento de la planta El Salguero de San Juan de Cesar en el departamento de la Guajira para la fabricación de ladrillos artesanales.

Los autores de la publicación llegan a la conclusión de que el añadir este tipo de lodos residuales no afecta durante el moldeo de las muestras, ni prensado y tampoco secado de los ladrillos producidos.

Adicionalmente mencionan que el uso de los lodos residuales supone una alternativa viable para elaborar ladrillos, sin embargo, no realizan pruebas de laboratorio para confirmar su propuesta (Natalia Fuentes Molina et al., 2017)

5.1.4 Elaboración de ladrillos artesanales mediante el aprovechamiento de lodos resultantes del proceso de depuración en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Quitumbe.

Se propone fabricar ladrillos artesanales usando los lodos de residuo de los procesos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Quitumbe, elaborada por las estudiantes Laura Elizabeth Camargo y Beatriz Daniela Yambay Santamaría como proyecto de grado de la Universidad Central del Ecuador año 2020, en el cual se plantea el uso de estos desperdicios de las aguas residuales, con el fin de mejorar las propiedades físicas y mecánicas del producto final. Obteniendo mampostería no estructural de calidad aceptable, que a su vez ofrece una opción amigable para el tratamiento final de lodos contaminantes, mediante el cual se demostró que la resistencia a la compresión de las muestras analizadas arroja valores de 2.29 MPa y los ladrillos con 5% de lodo residual no húmedo, 2.82 MPa, aumentando en un 23% la resistencia, con lo que se presume que el lodo aporta al endurecimiento del ladrillo por su alto contenido de metales. (Laura Elizabeth Camargo & Beatriz Daniela Yambay Santamaría, 2020)

5.1.5 *Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos.*

Trabajo de grado de la Universidad católica de Santiago de Guayaquil elaborado en 2015 por Orellana León Xavier Oswaldo, donde se estudia la posible implementación de lodos de plantas de aguas residuales, de la ciudad de Guayaquil, Ecuador.

Documento que explica los estudios realizados y el proceso para fabricar ladrillos de forma artesanal usando los lodos y mezclas de arcilla en diferentes porcentajes. En el procedimiento se detallan las cantidades de las mezclas usadas y explica los resultados obtenidos, además de los diferentes usos posibles del producto terminado. (León & Oswaldo, 2015)

5.1.6 *Prototipado de ladrillos a partir del lodo generado en la planta Sierra Chiquita - Montería. Veolia Aguas de Montería S.A. E.S.P.*

Se realiza estudios de características fisicoquímicas y de composición de los lodos residuales en la planta de agua potable Sierra Chiquita - Montería (Colombia) para verificar su potencial uso como insumo para la fabricación de ladrillos. Se hacen pruebas de cocción del lodo mezclado con arcilla en distintos porcentajes para análisis de resultados. (Veolia Aguas de Montería, 2016)

5.1.7 *Diseño de la automatización del proceso de producción de materiales de construcción a base de arcilla para la Ladrillera El Rubí S.A.S Tunja.*

Proyecto para especialización en automatización industrial desarrollado por Jorge Alejandro Sánchez Niño y Javier Mateo Vargas Guerrero, en el cual se estudia la factibilidad para implementar un control PID para automatización de todo el proceso en la ladrillera el Rubí S.A.S. ejecutado en el año 2020. (Jorge Alejandro Sánchez Niño & Javier Mateo Vargas Guerrero, 2020).

5.2 Marco teórico

5.2.1 Funcionamiento de la PTAP Veolia aguas de Tunja S.A. E.S.P. (planta de tratamiento de agua potable)

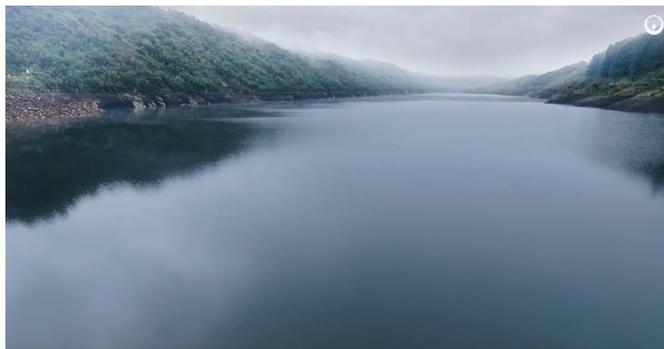


Ilustración 1. Captación de agua-represa de teatinos Veolia Tunja.

Fuente: Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P.



Ilustración 2. Planta de tratamiento de agua PTAP Veolia Tunja.

Fuente: Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P.

El proceso de potabilización del agua para consumo humano se basa en la eliminación de sustancias patógenas para no generar riesgos a la salud. En dicho proceso de potabilización se eliminan sustancias tóxicas como plomo, zinc, cromo, algas, bacterias y arenas que pueden contener virus (Carlos Jesús Martínez Andrés, 2019).

- ***Descripción del proceso de potabilización:***

Se realiza en lo que se conoce como estación o planta de tratamiento de agua, pasando por diferentes procesos que ayudan con la eliminación de las sustancias tóxicas descritas anteriormente.

Dentro de las etapas que se requieren para la potabilización del agua se encuentran:

- ***Pretratamiento:*** En esta etapa se eliminan los materiales de mayor tamaño como ramas o peces, mediante el uso de rejillas y con la ayuda de un desarenador se realiza la separación del agua con la arena que esta contenga.

Adicionalmente se usan torres de aireación para que se oxigene el agua y se eliminen bacterias



Ilustración 3. Torre de aireación PTAP Veolia Tunja.

Fuente: Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P.

- ***Coagulación:*** Conocida también como floculación, es la etapa donde por medio de gravedad o por uso de bombas de baja presión, se dirige el agua hacia tanques o recámaras donde

unas paletas giratorias hacen el proceso de mezclado del agua mientras se van añadiendo componentes que ayudan al proceso de coagulación y ajuste del pH del agua (Carlos Jesús Martínez Andrés, 2019).



Ilustración 4. Agitadores (floculadores) PTAP Veolia Tunja.

Fuente: Archivos área de mantenimiento Veolia Tunja.

- **Decantación:** Etapa en la que, por medio de la acción de la fuerza de gravedad, las sustancias en suspensión que lleva el agua se sedimentan hasta el fondo de colmenas y se eliminan sustancias nocivas densas mientras que las menos densas se disuelven en el agua que se decanta (Carlos Jesús Martínez Andrés, 2019).



Ilustración 5. Sedimentadores PTAP Veolia Tunja.

Fuente: Archivos área de mantenimiento Veolia Tunja.

- **Filtración:** Proceso en el cual se conduce el agua por medios porosos (generalmente arenas finas y antracita), para eliminar los sedimentos menos densos que aún se encuentran presentes en el agua y que en la etapa de decantación no se eliminaron (Carlos Jesús Martínez Andrés, 2019).



Ilustración 6. Filtros PTAP Veolia Tunja.

Fuente: Archivos área de mantenimiento Veolia Tunja.

- **Desinfección:** En esta parte del proceso, se adicionan determinadas cantidades de cloro al agua para la eliminación de bacterias y virus aún presentes. La función de este químico es la de eliminar patógenos que se adhieren de las aguas subterráneas (Carlos Jesús Martínez Andrés, 2019).

- **Análisis:** Luego de pasar por todas las etapas descritas, se deben realizar tomar muestras y realizar los respectivos análisis para comprobar que el proceso se realizó de la forma adecuada y evitar causar enfermedades a los consumidores del producto.

- **Tratamiento de subproductos:** El lodo sedimentado en el proceso de decantación se conduce por medio de bombas de tornillo hasta una estructura llamada filtro prensa, donde se deshidrata por medio de gatos hidráulicos y láminas en teflón que se presan eliminando los

excesos de humedad presentes en el lodo y dejándolo en condiciones previamente establecidas en el proceso para su disposición final.



Ilustración 7-8. Filtro prensa PTAP Veolia Tunja.

Fuente: Archivos área de mantenimiento Veolia Tunja.

5.2.2 *Funcionamiento de la PTAR Veolia aguas de Tunja S.A. E.S.P. (planta de tratamiento de aguas residuales)*



Ilustración 9. Planta de tratamiento de agua PTAR Veolia Tunja.

Fuente: Archivos área de mantenimiento Veolia Tunja.

- ***Fases del tratamiento de aguas residuales:***

El agua residual se somete a diversas fases de tratamiento según el nivel de contaminación presente en estas. La PTAR se organiza en diversas fases que se componen según las técnicas de descontaminación y tipos de tratamiento que se les dé a las aguas residuales. A continuación, se presentan las fases de tratamiento de aguas, aunque en muchas ocasiones no se tienen claras las separaciones entre fases (Luis Felipe Granada Aguirre et al., 2019).

- ***Pretratamiento:*** Es un proceso en el que se hace uso de rejillas o cribas que se encargan de hacer la separación de residuos sólidos de gran volumen como palos, telas, piedras, plásticos, etc. (Luis Felipe Granada Aguirre et al., 2019).

- Componentes del tratamiento preliminar:

- *Rejilla auto limpiante:* Se ubica en la estructura de entrada, con el fin de remover el material solido de gran tamaño que causa inconvenientes en el tren de tratamiento. El agua residual luego de pasar por la rejilla, pasa a un compartimento donde se controlan caudales por medio de orificios a cada uno de los módulos.



Ilustración 10. Rejilla auto limpiante PTAR Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

- *Tratamiento primario:* En esta fase se sedimenta el material suspendido mediante procesos físicos o fisicoquímicos, en ocasiones se deposita el agua en tanques de almacenamiento de gran capacidad y se añade agua con el fin de hacer más eficiente la sedimentación. Además, se incluye la neutralización del PH presente y la eliminación de amoníaco (desorción). Dentro del proceso se eliminan aceites, grasas, sedimentación primaria, filtración, neutralización y desorción (Luis Felipe Granada Aguirre et al.,2019).

- *Desarenador:* Se encarga de separar del agua las arenas, gravas, cenizas y otros materiales, evitándose problemas como la abrasión y desgastes en tuberías, reactores y principalmente en bombas.



Ilustración 11. Desarenador PTAR Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

- **Tratamiento secundario:** Esta fase comprende la eliminación de partículas coloidales y similares, incluye tratamiento químico y biológico. En este proceso se facilita que las bacterias aerobias realicen el proceso de digerir la materia orgánica que se encuentra en el agua. Para la realización de este proceso, se lleva el agua saliente del tratamiento primario a tanques donde se mezcla con agua cargada de lodos activos (microorganismos); en estos tanques se les garantiza condiciones aerobias de agitación y burbujeo a los microorganismos para que puedan realizar la digestión. Posteriormente se dirigen a tanques en forma de tronco de cono para donde se decantan los lodos y se separan para que el agua que sale tenga menos impurezas (Luis Felipe Granada Aguirre et al., 2019).

- **Tratamiento anaerobio:** Fase del proceso donde se degrada la materia orgánica mediante microorganismos de forma anaerobia, donde se obtiene biogás y nuevos microorganismos. Este tratamiento se realiza en un reactor anaeróbico de flujo ascendente (UASB), donde se introduce el agua desde el fondo por medio de boquillas que entregan el agua y permiten su paso a través de un manto de lodos (microorganismos), el cual es encargado de disminuir la carga de materia orgánica.

- Componentes del tratamiento secundario:



Ilustración 12. Reactores UASB PTAR Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

- Tratamiento aerobio: Proceso biológico donde los microorganismos en presencia obligada de oxígeno se alimentan de la materia orgánica remanente del tratamiento anaerobio transformándola en subproductos como gas carbónico, agua y nuevos microorganismos. El oxígeno que necesitan los microorganismos es inyectado a través de difusores, dispuestos en el tanque específico para este fin.

- Sedimentador secundario: Encargado de remover los sólidos sedimentados del agua a la salida del tanque de aireación y espesar el lodo de retorno, con el fin de obtener un efluente clarificado con bajos contenidos de sólidos suspendidos. Es circular, con alimentación central, provisto de barredores de fondo, para la recirculación, purga de los lodos y superficial para la remoción de espumas y flotantes.



Ilustración 13. Sedimentador PTAR Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

- **Tratamiento terciario:** Luego de haber finalizado los tratamientos primario y secundario, se utilizan tratamientos terciarios que consisten en la formación de lagunas de oxidación que consisten en inyectar aire a las aguas residuales con el fin de alcanzar ciertos niveles de oxígeno disuelto necesario para continuar con la eliminación de bacterias y patógenos aún presentes en las aguas. Requiere de grandes extensiones de terreno.

- **Componentes del tratamiento terciario:**



Ilustración 14. Tanque de aireación PTAR Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

- **Tratamiento de subproductos:**

- **Espesador de lodos:** Encargado de incrementar la cantidad de los sólidos en los lodos poreliminación del agua.



Ilustración 15. Espesadores PTAR Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

- *Deshidratador centrífugo*: Se conduce el lodo por tuberías hasta el decanter, donde se realiza la deshidratación con el fin de reducir la hasta en un 80%, logrando condiciones óptimas para el manejo y tratamiento.



Ilustración 16-17. Centrifugadora o decanter PTAR Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

- *Quemador de biogás*: Encargado de la quema y combustión del metano almacenado en el tanque anaerobio (UASB). Se compone de una trampa de sedimentos, válvula que atrapa la llama, válvula reguladora de presión y una antorcha de quemado.



Ilustración 18. Quemador de biogás PTAR Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

- **Lavado H₂S**: Se realiza recolección del ácido en los domos del UASB, se conduce por la tubería el gas, se separan las gotas para eliminar la humedad presente y luego se inyecta a través de un soplador de aire y 10 difusores de burbuja que se encuentran al fondo del tanque de aireación para su oxidación.

5.3 Marco conceptual

Se requiere aclarar algunos de los conceptos técnicos para facilitar la comprensión del documento

5.3.1 Deshidratador centrífugo: Maquina rotativa que se encarga de la separación de materia solida de uno o más líquidos (con densidades diferentes) en fases líquidas y sólidas separadas.

Los componentes principales son el rotor o tambor, un tornillo sin-fin, caja reductora, bancada o bastidor con carcasa y las entradas de fluido y las descargas, a su vez el tambor consta de las siguientes partes principales:

En primer lugar, una cubierta en el lado ancho, una sección cilíndrica, una sección cónica y una cubierta en el lado estrecho. Una serie de rodamientos principales y rodamientos para el tornillo sin-fín, una polea motriz y un adaptador para la caja reductora que se sitúa en las cubiertas de los dos extremos.

En segundo lugar, se encuentra una sección cónica que cuenta con orificios para descargar los sólidos. Por lo general, estos orificios de descarga poseen revestimientos con casquillos o revestimientos que se pueden remplazar y están hechos de materiales resistentes a la abrasión, como Stellite o material de carburo de tungsteno. La cubierta del lado ancho cuenta también con orificios para la descarga de líquidos.

La descarga de líquido de algunos decanter se realiza a presión por medio de un disco especial, llamado paring disc, con funcionamiento similar al de una bomba centrípeta, situado fuera de la cubierta.

En tercer lugar, se encuentra un tubo de alimentación que conecta con el tambor y se introduce por la sección transversal del eje de rotación y por la parte inferior del bastidor o bancada se encuentran los orificios para las descargas de líquidos y sólidos, independientes para cada uno de los extremos. Una cubierta o carcasa que se encarga de proteger las partes giratorias y de permitir el almacenamiento de las fases líquidas y sólidas de forma separada.

Por último, dentro del bastidor se encuentra un motor eléctrico con accionamiento independiente que transmite movimiento al tambor por medio de una correa de transmisión y, generalmente otro motor de accionamiento posterior que transmite movimiento al tornillo sin-fin por medio de la caja reductora o caja de engranajes. (Alfa Laval, 2015).

5.3.2 Automatización Industrial: Se entiende por automatización industrial a la monitorización y control de variables de la maquinaria por medio del uso de elementos tecnológicos conocidos como sensores, transmisores de datos situados en campo, sistemas de control, software y sistemas de recolección de datos del proceso. Su objetivo principal es la reducción de costos de operación y el perfeccionamiento de la producción evitando la interacción directa de personal humano con los equipos. (Oasys outsourcingautomation systems, 2023)

5.3.3 Control de procesos (PLC): Se basa principalmente en el uso de una computadora usada en la ingeniería de automatización para grandes industrias, lo que quiere decir, que realiza el control sobre la maquinaria de una fábrica o de elementos mecánicos en movimiento.

Se compone de dispositivos electrónicos que se pueden programar y se adaptan a los requerimientos de las empresas que los manejen, principalmente en el ámbito de la producción por lotes.

En el mercado se encuentra bastantes proveedores encargados de la programación de cada uno de los dispositivos, con la finalidad de que operen correctamente, pero, sobre todo, que trabaje de acuerdo a las necesidades solicitadas por la empresa.

En otras aplicaciones se conoce también como cerebro electrónico, que se encarga del accionamiento de otros componentes ajenos a la maquinaria para que efectúen trabajos que pueden llegar a ser peligrosas para los trabajadores o en su defecto muy lentos si se realiza manualmente.

En la actualidad se usan principalmente para aplicaciones industriales, aunque ya existen casos en los que se utilizan para residencias o establecimientos comerciales. (Autycom, 2023)

5.3.4 Operación y supervisión (SCADA): El sistema SCADA es un instrumento usado para la automatización y control de maquinaria industrial para procesos de producción, que realiza el control, supervisión, recopilación, análisis de datos y generación de informes a distancia mediante el uso de una aplicación informática. Su función principal es realizar la evaluación de los datos con el fin de corregir posibles errores. (Centro de formación técnica para la industria, 2023b).

5.3.5 Sensor Industrial: Son dispositivos electrónicos de entrada que generan señales de salida con respecto a una medición de una magnitud física específica que se conoce como entrada. Es decir, realiza la medición de una variable física y la convierte en una señal analógica que se lee a través de un instrumento o un operador. (Centro de formación técnica para la industria, 2023a)

5.3.6 Electroválvula: Son Aparatos electrónicos que operan por medio de pulsos eléctricos. Cuando la corriente circula por el solenoide se genera la apertura o cierre de la válvula controlando, la restricción o el paso de algún fluido por la misma. (Distritec SA, 2021).

5.3.7 Máquina extrusora: Es una maquina industrial que aplica presión a materiales sólidos y a la vez viscosos para forzar el paso por medio de orificios que se encuentran en boquillas. (videojet, 2023).

5.3.8 Laminadora: Es una máquina que se compone principalmente de dos cilindros en acero alineados longitudinalmente, que tienen contacto entre sí, los cuales al girar en sentido contrario uno del otro, comprimen la mezcla de materiales, estirándolos en láminas o planchas para conseguir una placa uniforme para posteriormente pasar a proceso de troquelado. (Ecured, 2023)

5.3.9 Mezclador para arcilla: Equipo que tiene como objetivo principal, realizar la mezcla de distintos tipos de arcilla. Lo anterior se realiza para obtener un producto de tipo cerámico de buena calidad, siendo también de vital importancia la preparación previa de la arcilla que se va a utilizar, teniendo un buen proceso de mezcla y quiebra de los terrones, adición del agua para lograr la humedad deseada y la correcta homogenización de la masa. (Ingeinpro, 2021).

5.3.10 Dosificador de arcilla: Tiene como función principal, transportar los materiales granulados de tipo solido; es decir, la dosificación o alimentación de forma controlada de los sólidos para la mezcla; al mismo tiempo realiza la alimentación de manera uniforme y mejora la calidad de la fabricación de ladrillos y azulejos. (Nelson Sejas Galindo, 2023)

5.3.11 Macromedidor: Son equipos encargados de la medición de caudales de agua en tuberías de pequeños y grandes diámetros, Una de sus principales características es la capacidad que tiene para medir fluidos turbios o con impurezas, por otra parte, calcula la velocidad de los flujos de agua con el fin de obtener la medida del caudal de agua circulante. (usta.edu.co,2016).

5.3.12 Banda transportadora: Máquina que basa su funcionamiento en el transporte continuo de materiales, compuesta por una cinta continua que es movida por la rotación de dos tambores. El movimiento de la cinta se genera por la fricción generada con los tambores, que son movidos por la acción de un motor eléctrico. Para conseguir la fricción necesaria para mover la cinta es necesario realizar una tensión de los tambores por medio generalmente, por un mecanismo tensor por un tornillo tensor o husillos. Uno de los tambores normalmente gira de forma libre, sin la necesidad de algún tipo de accionamiento, su función es la de ayudar con el retorno de la cinta transportadora. La cinta se soporta por medio de los rodillos entre los tambores, que son conocidos como rodillos. El movimiento de la cinta, transporta el material que se deposita sobre ella hacia el tambor de libre accionamiento haciendo el retorno en sentido contrario. Luego de llegar al final del recorrido, el material se deposita fuera de la banda por acción de la fuerza de gravedad o por inercia. En esta zona el material depositado sobre la banda es vertido fuera de la misma debido a la acción de la gravedad y/o de la inercia. (Wikipedia, 2023).

Diseño metodológico

La investigación empleada en el desarrollo de este proyecto de tipo experimental y exploratoria debido a que se realizan pruebas y análisis estadísticos con muestras de los lodos residuales de las plantas de tratamiento de agua potable PTAP y residual PTAR de Veolia Tunja, para ello se evaluaron las características y cualidades de los lodos residuales como insumos para la producción de ladrillos. Por tal razón, la población a estudiar son los residuos generados por el tratamiento de las aguas residuales y potable de la ciudad de Tunja.

En el departamento de Boyacá no se conocen estudios significativos en cuanto a la disposición final de los lodos residuales, por ende, la hipótesis de este trabajo de grado se basa en la posible utilización de estos residuos como materiales para construir ladrillos, para tener una opción ambientalmente amigable para su disposición final. Basándose en la hipótesis planteada, la ejecución de este proyecto traería beneficios a la empresa en cuanto a la reducción de costos asociados a la contratación de empresas externas encargadas del tratamiento final de los lodos residuales.

Uno de los principales resultados esperados, es disminuir la cantidad de materiales de origen primario que se emplean en la de bloques y ladrillos, reemplazándolos por lodos que en la actualidad son considerados residuos y que no tienen un claro procedimiento para disposición final, en consecuencia, se deben tener en cuenta variables cuantificables y alcanzables, de tal manera que se pueda organizar procedimientos paso a paso para dar cumplimiento al planteamiento del problema.

Según la hipótesis planteada, en primer lugar, tenemos variables independientes como la automatización y el proceso de tratamiento de lodos. En segundo lugar, se encuentran las variables

dependientes, como la calidad de los ladrillos, la gestión adecuada de los residuos, productividad, ahorro de recursos y disminución de costos de producción.

Con el fin de dar solución y desarrollo a los objetivos inicialmente planteados, se tuvieron en cuenta los siguientes factores:

Se estudió y definió el método y porcentajes de utilización de los lodos residuales para el posterior diseño del sistema de aprovechamiento. Se enviaron a laboratorio muestras de los lodos residuales de las plantas de tratamiento para estudiar las composiciones fisicoquímicas, con el fin de definir los porcentajes de las mezclas para iniciar con el proceso de fabricación de los ladrillos a base de lodo residual. Con base en los resultados de los análisis, se definen los porcentajes de 70% de arcilla mezclado con 30% lodo de la PTAP, porcentaje de 80% de arcilla mezclado con 20% lodo de la PTAP, 70% de arcilla mezclado con 30% lodo de la PTAR y 80% de arcilla mezclado con 20% lodo de la PTAR.

En segundo lugar se fabrican los ladrillos con los porcentajes descritos anteriormente, se realiza secado de las muestras al aire libre durante una semana y posteriormente se dejan en un proceso de secado adicional para eliminar posibles burbujas o residuos de agua almacenados en los ladrillos. Finalizado el secado de las muestras, se enviaron los ladrillos a cocción, se recogen y se llevan nuevamente al laboratorio de López Hermanos S.A.S. para realizar los análisis de resistencia a compresión, módulo de rotura y absorción de humedad, para determinar las características técnicas que posee cada porcentaje de mezcla realizada. Se realiza análisis de los ensayos y se selecciona el porcentaje de mezcla con mejor comportamiento a las pruebas tomando como referencia los estipulado en la norma NTC 4205 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2000), para ajustar el diseño posterior del P&ID.

Para finalizar, se realizó el diseño de un sistema automático de aprovechamiento de lodos en base a los resultados obtenidos en los estudios, teniendo como referencia la resistencia y la selección de los porcentajes de mezclas a utilizar. Se plantea el diseño del sistema automatizado, el cual comprende los siguientes procesos:

- Almacenamiento de los insumos (lodo PTAP, lodo PTAR y arcilla).
- Dosificación de insumos.
- Mezclas de los insumos.
- Laminado de las mezclas.
- Compactación de las mezclas y formado (extrusión).
- Corte de bloques formados.

Con base en los procesos del sistema automatizado, se programó el PLC y SCADA del sistema diseñado integrando maquinaria, equipos e instrumentos necesarios para la fabricación de ladrillos.

Se selecciona el software Indusoft Web Studio versión 8.1 para el diseño del SCADA del sistema planteado en el P&ID del proceso. Se realizan las respectivas conexiones siguiendo la línea de proceso en su orden y se seleccionó el software del controlador PLC para el sistema diseñado. Se escoge el PLC de Schneider Electric modicon modelo M221 para realizar la programación y control de la maquinaria de la ladrillera propuesta.

6-Desarrollo del Proyecto

6.1 Análisis de laboratorio para estudio de características fisicoquímicas de los lodos residuales

Para dar cumplimiento al objetivo fue necesario realizar búsqueda, hacer cotizaciones y seleccionar el laboratorio para que realice los análisis de las composiciones fisicoquímicas y microbiológicas de los lodos residuales de la PTAP y la PTAR de Veolia, además de realizar los estudios técnicos de calidad y resistencia de los ladrillos según la norma técnica colombiana NTC-4017.

Se realizan las respectivas cotizaciones en la ciudad de Tunja, para realizar los estudios de propiedades de los lodos, encontrando al laboratorio López Hermanos Geotecnia y Aguas Subterráneas S.A.S. como mejor opción para enviar las muestras de los lodos residuales generados.

LOPEZ HERMANOS SAS es una empresa que presta servicios para la elaboración de estudios de suelos para obras civiles, ejecución de ensayos de laboratorio de suelos, pavimentos y concretos, diseños de mezclas de materiales para obras civiles, sondeos CPTu, perforación, diseño, construcción y mantenimiento de pozos profundos. Empresa certificada en ISO-9001 V 2015 por Bureau Veritas desde el año 2008. En la actualidad se encuentran en proceso de acreditación de ensayos ante el Organismo Nacional de Acreditación ONAC.

Se recibe una primera cotización del laboratorio el 6 de septiembre de 2022, mediante la oferta LAB 092022-06, donde se especifican los valores de los estudios que se planea realizar a las muestras de los lodos residuales de las plantas de tratamiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales.

Actividad	Norma	Valor Unitario
Humedad Natural	I.N.V. E – 122 - 2013	\$ 8.348
Peso Unitario	ASTM - D-7263-09	\$ 32.945
Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	I.N.V. E – 125 - 2013 I.N.V. E – 126 - 2013 NTC 4630 - 1999	\$ 35.616
Límites de Contracción	I.N.V. E – 127 -2013 NTC 1503 - 2001	\$ 36.729
Granulometría por tamizado con lavado	NTC 1522 - 1979	\$ 71.232
Determinación de los tamaños de las partículas (Granulometría por hidrómetro)	I.N.V. E – 123 - 2013	\$ 129.744
Determinación del porcentaje de cenizas	N/A	\$ 55.450
Ensayo de Azul de Metileno (Fracción Pasa No. 4 y Fracción Pasa No. 200)	I.N.V. E – 235 - 2013	\$ 127.995
Transporte para recogida de muestras dentro del perímetro del municipio de Tunja	N/A	\$ 31.800

Figura 1. Oferta lab. 092022-06. López Hermanos S.A.S.

para Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P.

Actividad	Norma	Valor Unitario
Equivalente de Arena	I.N.V. E – 133 - 2013	\$ 100.615

Figura 2. Oferta lab. 092022-06. López Hermanos S.A.S. para Veolia Aguas de Tunja

S.A. E.S.P.

Actividad	Norma	Valor Unitario
Rotura por compresión de bloques macizos de arcilla	NTC 4017 - 2018 Numeral 7	\$ 44.520
Módulo de rotura en unidades macizas	NTC 4017 - 2018 Numeral 6	\$ 35.616
Absorción en frío de unidades macizas, perforación horizontal y perforación vertical	NTC 4017 - 2018 Numeral 10.3	\$ 27.825

Figura 3. Oferta lab. 092022-06. López Hermanos S.A.S. para Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P.

Debido a que las autorizaciones de dinero para de proyectos especiales dentro de Veolia Tunja se debe tramitar a través de la sede principal de la compañía (Veolia Holding Colombia), la ejecución de las pruebas y ensayos de laboratorio, inscripción del laboratorio López Hermanos como proveedor de la empresa y aprobación de recursos necesarios para el desarrollo del proyecto tomaron tiempos superiores a los estimados inicialmente; por tal razón, fue necesario realizar la solicitud de la actualización de cotizaciones con el laboratorio.

En cuanto a los valores de los ensayos de laboratorio descritos en los numerales 2.1 y 2.3 de la oferta LAB 092022-06, no se presentó ninguna variación de costos hasta la fecha de la toma de las muestras de los lodos en las instalaciones de la empresa; sin embargo, para el numeral 2.4, se observa cambio en los valores descritos en la oferta LAB 022023-18. López Hermanos S.A.S. para Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P.

A continuación, se relacionan los cambios en los precios de los ensayos de laboratorio del numeral 2.4:

Actividad	Norma	Valor Unitario
Rotura por compresión de bloques macizos de arcilla	NTC 4017 - 2018 Numeral 7	\$ 48.972
Módulo de rotura en unidades macizas	NTC 4017 - 2018 Numeral 6	\$ 39.178
Absorción en frío de unidades macizas, perforación horizontal y perforación vertical	NTC 4017 - 2018 Numeral 10.3	\$ 30.608

Figura 4. Oferta lab. 092022-06 López Hermanos S.A.S. para Veolia Aguas de Tunja S.A. E.S.P.

- Realizadas las respectivas cotizaciones y teniendo la aprobación del laboratorio por parte de Veolia, se procede a recibir a personal de López Hermanos en instalaciones de la empresa para la toma de las muestras que se van a llevar para ser analizadas en el laboratorio.

En primer lugar, se realiza visita a la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) del barrio libertador de Tunja, acompañando al técnico de toma de muestras enviado por el laboratorio, se realiza la toma de muestras de lodo con diferentes tiempos de maduración, tiempos comprendidos entre un mes y medio y una semana de haberse dispuesto en la parte trasera del terreno donde se ubica la planta de tratamiento. Se carga lodo residual en lonas para ser transportado hacia el laboratorio y realizar los estudios pertinentes.



Ilustración 19-20. Toma de muestras de lodo residual PTAP Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

En segundo lugar, se realiza visita para recoger las muestras de lodo residual de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). La muestra en este caso, se toma directamente después del tratamiento de lodos en la máquina centrífuga, específicamente a la salida del tornillo sin-fin que alimenta la banda transportadora, que a su vez conduce el lodo residual al contenedor usado por Urbaser S.A. E.S.P. para la recolección, traslado del mismo y posterior disposición.



Ilustración 21-22-23. Toma de muestras lodo residual PTAR.

Fuente: Autor.

Se llevan las muestras de los lodos residuales de las plantas de tratamiento al laboratorio de Hermanos López por parte del técnico encargado y se queda a espera de envío de documentos de resultados de ensayos por parte de la empresa mencionada.

Se realizan los siguientes análisis de laboratorio:

- Análisis granulométrico.
- Ensayo de azul de metileno.
- Contenido de agua en muestras de suelo, roca y mezclas de suelo agregado.
- Equivalente de arena.
- Granulometría por tamizado.
- Límites de consistencia.
- Gravedad específica de las partículas sólidas de suelos y llenante mineral, empleando picnómetro con agua.

Se reciben los resultados de los análisis de laboratorio y se realiza comparación con proyectos relacionados con el tema de investigación ejecutados anteriormente y que hicieron parte del estado del arte y referencias del presente proyecto:

- *Gravedad específica de las partículas sólidas de suelos y llenante mineral, empleando picnómetro con agua.*
- *PTAP:*

CALIBRACIÓN MATRAZ			
T (C°)	18,5	17,6	19,4
Peso matraz + H₂O (g)	674,8	674,7	674

Temperatura ensayo	23
Peso matraz + H ₂ O (g)	673,91
Peso matraz + H ₂ O+suelo (g)	716
Peso platón (g)	122,85
Peso platón + suelo seco (g)	208,75
Peso seco (g)	85,9
Volumen suelo (cm ³)	43,8
G _s	1,96
α	0,9976
Gravedad específica	<u>1,96</u>

Figura 5. Ensayo gravedad específica PTAP.

- **PTAR:**

CALIBRACIÓN MATRAZ			
T (C°)	18,5	17,6	19,4
Peso matraz + H₂O (g)	674,8	674,7	674

Temperatura ensayo	23,8
Peso matraz + H ₂ O (g)	673,79
Peso matraz + H ₂ O+suelo (g)	693,8
Peso platón (g)	114,78
Peso platón + suelo seco (g)	175,2
Peso seco (g)	60,42
Volumen suelo (cm ³)	40,4
G _s	1,50
α	0,9976
Gravedad específica	<u>1,49</u>

Figura 6. Ensayo gravedad específica PTAP.

Ensayo	Símbolo	Suelo Natural	Lodo Residual	Unidad
Gravedad Específica	γ_s	2.53	No Determinado	g/cm ³

Figura 7. Ensayo gravedad específica proyecto “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas Startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo”.

Como se evidencia en las figuras 5, 6 y 7, los valores de la gravedad específica en ensayos del proyecto “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas Startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo” (Marcela Muñoz Castaño, 2016) no están especificados en la tabla, aparecen los valores de gravedad específica de suelo natural y son mayores a los valores de los lodos residuales PTAP y PTAR:

- a- 1.96 PTAP
- b- 1.49 PTAR
- c- 0.0 propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas Startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo.
- d- 2.53 suelo natural

- **Límites de consistencia:**

- **PTAP:**

Límite Líquido	Recipiente No.	NP	NP	NP
	Número de golpes	0	0	0
	Masa del recipiente, g	0	0	0
	Masa del recipiente más muestra húmeda, g	0	0	0
	Masa del recipiente más muestra seca, g	0	0	0
	Contenido de agua, %	NL	NL	NL
	Límite líquido (LL)	NL		

Procedimiento de ensayo de límite plástico:

Manual

Límite Plástico	Cápsula	NP	NP
	Masa del recipiente (g)	0	0
	Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	0	0
	Masa del recipiente + suelo seco (g)	0	0
	Contenido de agua, %	NP	NP
	Límite plástico (LP)	NP	
	Índice de Plasticidad (IP):	No plástico	



OBSERVACIONES:

Figura 8. Ensayo límites de consistencia PTAP.

- **PTAR:**

Límite Líquido	Recipiente No.	NP	NP	NP
	Número de golpes	0	0	0
	Masa del recipiente, g	0	0	0
	Masa del recipiente más muestra húmeda, g	0	0	0
	Masa del recipiente más muestra seca, g	0	0	0
	Contenido de agua, %	NL	NL	NL
	Límite líquido (LL)	NL		

Procedimiento de ensayo de límite plástico:

Límite Plástico	Cápsula	NP	NP
	Masa del recipiente (g)	0	0
	Masa del recipiente + suelo húmedo (g)	0	0
	Masa del recipiente + suelo seco (g)	0	0
	Contenido de agua, %	NP	NP
	Límite plástico (LP)	NP	
	Índice de Plasticidad (IP):	No plástico	

Manual



OBSERVACIONES:

Figura 9. Ensayo límites de consistencia PTAR.

Límite Líquido	LL	56.2	445.82	%
Límite Plástico	LP	40.7	391.72	%

Figura 10. Ensayo límites de consistencia proyecto “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas Startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo”.

Se evidencia en las figuras 8,9 y 10, que los valores de límite de consistencia en ensayos del proyecto “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas Startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo” (Marcela Muñoz Castaño, 2016) son mayores en cuanto a plasticidad y límite líquido a los valores de los lodos

residuales PTAP y PTAR, debido a que los lodos no arrojan resultados en ninguno de estos dos ítems.

- *Equivalente de arena:*
- *PTAP:*

Muestra No.	1	2
Número probeta	2	3
Tiempo de sedimentación (min)	20	20
Lectura de la Arena	32	36
Lectura de la Arcilla	244	240
Equivalente de Arena (%)	14	15
Equivalente de arena Promedio (%)	15	

Figura 11. Ensayo equivalente de arena PTAP.

- *PTAR:*

Muestra No.	1	2
Número probeta	1	2
Tiempo de sedimentación (min)	20	20
Lectura de la Arena	110	112
Lectura de la Arcilla	148	144
Equivalente de Arena (%)	75	78
Equivalente de arena Promedio (%)	77	

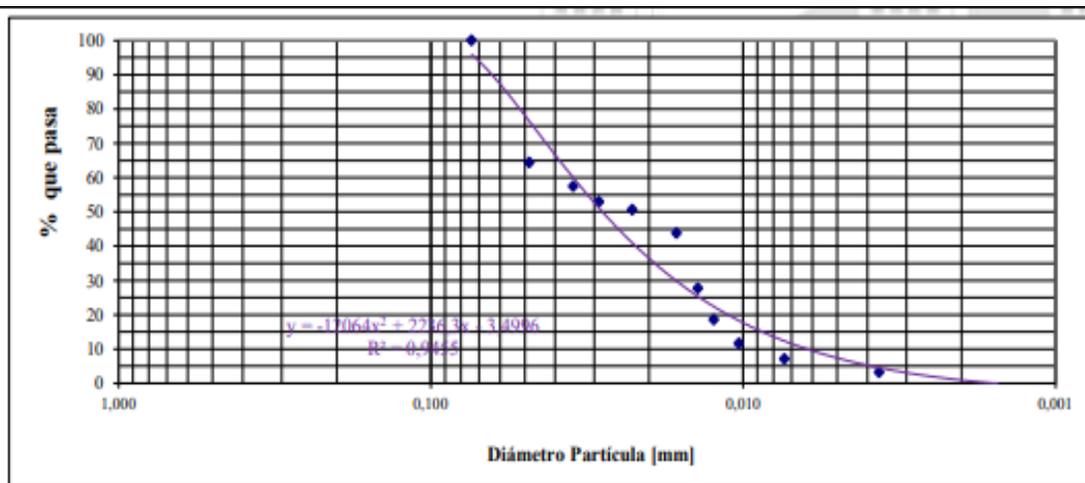
Figura 12. Ensayo equivalente de arena PTAR.

Las figuras 11 y 12 muestran valores de equivalente de arena de 15% en el caso de lodo residual PTAP y de 77% para el lodo residual PTAR. Siendo un valor elevado en el caso del lodo PTAR.

- *Análisis granulométrico por hidrómetro:*
- *PTAP:*

PESO SECO: 50 grs Gs= 1,96 Corrección cero : 7 Corrección Menisco : 0
a 1,146

	HORA	Tiempo		Lectura Real		Lectura Corr.	% más	Hidrometro				
	DE	Transcurrido	Temp.	Hidrómetro	Ct	Hidrómetro	‰	Carr. X Men.	L	Lt	K	D
FECHA	LECTURA	min	°C	Ra		Rc		R				mm
1/02/2023	8:35:00 a. m.						100,00					0,0740
1/02/2023	8:36:00 a. m.	1,00	16,0	36,0	-0,90	28,1	64,38	36,0	10,40	10,4000	0,0150	0,0484
1/02/2023	8:37:00 a. m.	2,00	16,0	33,0	-0,90	25,1	57,51	33,0	10,90	5,4500	0,0150	0,0350
1/02/2023	8:38:00 a. m.	3,0	16,0	31,0	-0,90	23,1	52,93	31,0	11,20	3,7333	0,0150	0,0290
1/02/2023	8:40:00 a. m.	5,0	16,0	30,0	-0,90	22,1	50,64	30,0	11,40	2,2800	0,0150	0,0226
1/02/2023	8:45:00 a. m.	10,0	16,0	27,0	-0,90	19,1	43,76	27,0	11,90	1,1900	0,0150	0,0164
1/02/2023	8:50:00 a. m.	15,0	16,0	20,0	-0,90	12,1	27,72	20,0	13,00	0,8667	0,0150	0,0140
1/02/2023	8:55:00 a. m.	20,0	16,0	16,0	-0,90	8,1	18,56	16,0	13,70	0,6850	0,0150	0,0124
1/02/2023	9:05:00 a. m.	30,0	16,0	13,0	-0,90	5,1	11,69	13,0	14,20	0,4733	0,0150	0,0103
1/02/2023	9:35:00 a. m.	60,0	16,0	11,0	-0,90	3,1	7,10	11,0	14,50	0,2417	0,0150	0,0074
1/02/2023	12:45:00 p. m.	250,0	22,0	8,0	0,40	1,4	3,21	8,0	15,00	0,0600	0,0150	0,0037
2/02/2023	8:35:00 a. m.	1440,0	15,0	8,0	-1,10	-0,1	-0,23	8,0	15,00	0,0104	0,0150	0,0015



%Pasa 0,004 3,55

Figura 13. Análisis granulométrico por hidrómetro PTAP.

- PTAR:

PESO SECO: 50 grs Gs= 1,49 Corrección cero : 7 Corrección Menisco : 0
a 1,244

	HORA	Tiempo		Lectura Real		Lectura Corr.	% más	Hidrómetro				
	DE	Transcurrido	Temp.	Hidrómetro	Ct	Hidrómetro	Gas	Corr. X Mes.	L	Lt	K	D
FECHA	LECTURA	min	°C	Ra		Rc		R				mm
1/02/2023	8:35:00 a. m.						100,00					0,0740
1/02/2023	8:36:00 a. m.	1,00	16,0	35,0	-0,90	27,1	67,42	35,0	10,50	10,5000	0,0150	0,0486
1/02/2023	8:37:00 a. m.	2,00	16,0	34,0	-0,90	26,1	64,93	34,0	10,70	5,3500	0,0150	0,0347
1/02/2023	8:38:00 a. m.	3,0	16,0	33,0	-0,90	25,1	62,44	33,0	10,90	3,6333	0,0150	0,0286
1/02/2023	8:40:00 a. m.	5,0	16,0	32,0	-0,90	24,1	59,96	32,0	11,10	2,2200	0,0150	0,0223
1/02/2023	8:45:00 a. m.	10,0	16,0	28,0	-0,90	20,1	50,00	28,0	11,70	1,1700	0,0150	0,0162
1/02/2023	8:50:00 a. m.	15,0	16,0	24,0	-0,90	16,1	40,05	24,0	12,40	0,8267	0,0150	0,0136
1/02/2023	8:55:00 a. m.	20,0	16,0	21,0	-0,90	13,1	32,59	21,0	12,90	0,6450	0,0150	0,0120
1/02/2023	9:05:00 a. m.	30,0	16,0	16,0	-0,90	8,1	20,15	16,0	13,70	0,4567	0,0150	0,0101
1/02/2023	9:35:00 a. m.	60,0	16,0	15,0	-0,90	7,1	17,66	15,0	13,80	0,2300	0,0150	0,0072
1/02/2023	12:45:00 p. m.	250,0	22,0	12,0	0,40	5,4	13,43	12,0	14,30	0,0572	0,0150	0,0036
2/02/2023	8:35:00 a. m.	1440,0	15,0	11,0	-1,10	2,9	7,21	11,0	14,50	0,0101	0,0150	0,0015

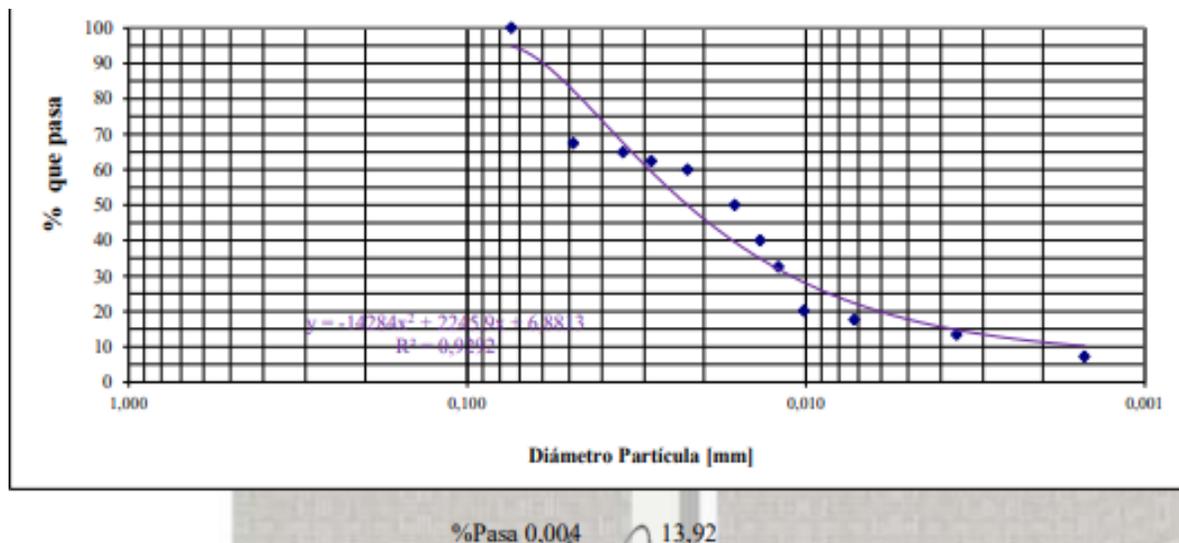


Figura 14. Análisis granulométrico por hidrómetro PTAR.

Granulometría por Hidrómetro				
Arena	S	37	No Determinado	%
Limo	M	49	No Determinado	%
Arcilla	C	14	No Determinado	%
Finos	-	63	No Determinado	%

Figura 15. Ensayo granulométrico por hidrómetro proyecto “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas Startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo”.

En esta oportunidad los ensayos de granulometría por hidrómetro del proyecto “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas Startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo” (Marcela Muñoz Castaño, 2016) no están disponibles para realizar una comparación, sin embargo, comparando los valores de los resultados de los análisis de los lodos residuales y los de suelo natural que se observan en la tabla, podemos evidenciar que las partículas de lodo PTAP son las más grandes, seguidas de las partículas de lodo PTAR que tienen tamaño similar a las partículas de arcilla, seguidas en tamaño por arena, limo y finos respectivamente:

- a- PTAP 3.55%
- b- PTAR 13.92%
- c- Arcilla 14%
- d- Arena 37%
- e- Limo 49%
- f- Finos 63%

- *Granulometría por tamizado:*

- *PTAP:*

Masa seca Inicial de la muestra de ensayo:							1144
Masa seca despues del lavado sobre el Tamíz 200							139

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Corrección (g)	Peso retenido corregido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	ESPECIFICACIÓN	
								NA	
								MIN	MAX
3/4*	19,1	0,0	0,0	0,0	0	0	100		
1/2*	12,7	0,0	0,0	0,0	0	0	100		
3/8*	9,5	0,0	0,0	0,0	0	0	100		
No. 4	4,8	13,6	0,0	13,6	1	1	99		
No. 8	2,4	18,3	0,0	18,3	2	3	97		
No. 10	2,00	3,8	0,0	3,8	0	3	97		
No. 16	1,19	7,9	0,0	7,9	1	4	96		
No. 20	0,84	4,7	0,0	4,7	0	4	96		
No. 30	0,60	5,4	0,0	5,4	0	5	95		
No. 40	0,41	7,7	0,0	7,7	1	5	95		
No. 50	0,30	11,3	0,0	11,3	1	6	94		
No. 60	0,24	1,8	0,0	1,8	0	7	93		
No. 80	0,18	19,9	0,0	19,9	2	8	92		
No. 100	0,15	12,5	0,0	12,5	1	9	91		
No. 200	0,074	30,2	0,0	30,2	2,6	12,0	88,0		
Fondo		2,1	0,0	2,1	0				

TAMAÑOS DE PARTÍCULAS					
GRAVA 3" a No. 4	1,2	ARENA No. 4 a No.200	10,8		
			GRUESA No. 4 a No.10	MEDIA No. 10 a No. 40	FINA No. 40 a No.200
			1,9	2,2	6,6

Figura 16. Análisis granulométrico por tamiz PTAP.

- *PTAR:*

Masa seca Inicial de la muestra de ensayo:							705,6
Masa seca despues del lavado sobre el Tamíz 200							141

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Corrección (g)	Peso retenido corregido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa	ESPECIFICACIÓN	
								NA	
								MIN	MAX
1/2*	12,7	0,0	0,0	0,0	0	0	100		
3/8*	9,5	0,0	0,0	0,0	0	0	100		
No. 4	4,8	12,9	0,0	12,9	2	2	98		
No. 8	2,4	60,9	-0,2	60,7	9	10	90		
No. 10	2,00	15,6	0,0	15,6	2	13	87		
No. 16	1,19	20,5	-0,1	20,4	3	16	84		
No. 20	0,84	7,7	0,0	7,7	1	17	83		
No. 30	0,60	5,6	0,0	5,6	1	17	83		
No. 40	0,41	4,7	0,0	4,7	1	18	82		
No. 50	0,30	2,5	0,0	2,5	0	18	82		
No. 60	0,24	1,4	0,0	1,4	0	19	81		
No. 80	0,18	3,0	0,0	3,0	0	19	81		
No. 100	0,15	1,4	0,0	1,4	0	19	81		
No. 200	0,074	4,5	0,0	4,5	0,6	19,9	80,1		
Fondo		0,7	0,0	0,7	0				

TAMAÑOS DE PARTÍCULAS					
GRAVA 3" a No. 4	1,8	ARENA No. 4 a No.200	18,1		
			GRUESA No. 4 a No.10	MEDIA No. 10 a No. 40	FINA No. 40 a No.200
			10,8	5,4	1,8

Figura 17. Análisis granulométrico por tamiz PTAR.

Granulometría por Tamizado				
Grava	G	0	No Determinado	%
Arena	S	37	No Determinado	%
Finos	-	63	No Determinado	%

Figura 18. Ensayo granulométrico por tamiz proyecto “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas Startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo”.

De igual manera que en el ensayo anterior de los ensayos de granulometría por hidrómetro del proyecto “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas Startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo” (Marcela Muñoz Castaño, 2016) no hay resultados para lodo residual. Se comparan los valores con los resultados de suelo natural y observamos que el tamaño de las partículas se organiza de la siguiente manera:

- **PTAP:**
 - a- Grava: 1.2
 - b- Arena: 10.8
 - c- Finos 6.6
- **PTAR:**
 - a- Grava: 1.8
 - b- Arena: 18.1
 - c- Finos: 1.8

- *Suelo natural:*

- a- Grava: 0
- b- Arena: 37
- c- Finos: 63

- Una vez recibidos los resultados de los ensayos de composiciones y características de los lodos residuales, se realiza el respectivo análisis de los resultados con el apoyo del ingeniero Diego Fernando Pérez del área de planeación y construcciones y la ingeniera Johana Beltrán gerente de operaciones de Veolia Tunja, para definir los porcentajes más adecuados para la realización de las mezclas entre la arcilla y los lodos residuales de las plantas de tratamiento PTAP y PTAR.

Se define inicialmente, luego de reunirse con los ingenieros, trabajar con porcentajes de 70% de arcilla mezclado con 30% lodo de la PTAP, porcentaje de 80% de arcilla mezclado con 20% lodo de la PTAP, 70% de arcilla mezclado con 30% lodo de la PTAR y 80% de arcilla mezclado con 20% lodo de la PTAR.

En comparación con el proyecto “Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos” (León & Oswaldo, 2015), se seleccionaron porcentajes descritos a continuación:

- Ladrillos A (0% de adición de lodos residuales).
- Ladrillos B (10% de adición de lodos residuales).
- Ladrillos C (20% de adición de lodos residuales).
- Ladrillos D (30% de adición de lodos residuales).
- Ladrillos E (100% de adición de lodos residuales).

En el caso del proyecto “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas Startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo” (Marcela Muñoz Castaño, 2016) , se seleccionan los porcentajes de la siguiente manera:

- Ladrillos M1 (2% de adición de lodos residuales).
- Ladrillos M2 (4% de adición de lodos residuales).
- Ladrillos M3 (6% de adición de lodos residuales).

Se realiza consulta con la ladrillera el Rubí S.A.S. para información sobre el proceso de fabricación, mezclado y secado recomendado para las muestras, con el fin de realizar las mezclas de forma más técnica y efectiva. En primer lugar, para la fabricación y moldeado de los ladrillos, se requiere de la construcción de gaveras (moldes) en madera para darles forma.

En cuanto al proceso de secado se recomienda que se haga al medio ambiente. Por otra parte, informan que para la fabricación de cada ladrillo que se elabora en la ladrillera, en promedio se requiere de 3 kg de arcilla fina.

- Posteriormente, luego del análisis de los resultados de los análisis de laboratorio y determinados los porcentajes que se van a usar para cada una de las mezclas de los lodos residuales, se construyen 3 gaveras de medidas de 20cm de largo, 10cm de ancho y 6cm de altura con capacidad para 6 ladrillos cada una; para un total de 18 muestras.



Ilustración 24-25. Elaboración de gaveras en madera.

Fuente: Autor.

Adicionalmente a la elaboración de las gaveras, se requiere construir un mezclador para favorecer la integración de los lodos residuales junto con la arcilla. Se fabrica mezclador utilizando varilla lisa de $\frac{3}{8}$ "", se realizan cortes, se figuran varillas laterales para soldar a la varilla principal y se aplica pintura.



Ilustración 26-27. Fabricación de mezclador.

Fuente: Autor.

- Fabricadas las gaveras y el mezclador, se requiere realizar la compra de la arcilla necesaria para fabricar las muestras de lodos residuales. En la reunión mencionada anteriormente donde se realizó el análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio junto con los ingenieros Diego Pérez y Johana Beltrán, se decidió adicionalmente la fabricación de 10 muestras por cada uno de los porcentajes seleccionados para trabajar con los lodos residuales. Se realiza consulta con la ladrillera el Rubí S.A.S. para conocer la cantidad necesaria para fabricar un total de 40 muestras de ladrillos, informan que por cada ladrillo se requieren aproximadamente 3 kg de arcilla. Se realiza la respectiva cotización y se procede a hacer la compra de 120 kg de arcilla, que se recoge en las instalaciones de la ladrillera para posteriormente llevarlas a la PTAR para iniciar con el proceso de mezclado, moldeo y secado de las muestras.



Ilustración 28. Cuarto de almacenamiento de arcilla fina ladrillera el Rubí S.A.S.

Fuente: Autor.

Adicional a la arcilla, se requiere tomar muestras de lodos de las plantas de tratamiento PTAR Y PTAP, en las cantidades requeridas según los porcentajes determinados para la elaboración de los ladrillos. Se realiza desplazamiento hacia la PTAP, se recoge la cantidad requerida y se lleva hasta la PTAR.



Ilustración 29-30. Toma de muestra en depósito de lodo residual planta de tratamiento de agua potable PTAP Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

Se recoge muestra de lodo residual de la PTAR, en este caso la muestra no se toma directamente de la salida del tornillo sin-fin debido a que informan desde López Hermanos que la muestra llevada para análisis el laboratorio, presentó demoras en el proceso de secado y por tal razón se opta por tomar una muestra con 3 días de secado dentro del contenedor propiedad de Urbaser S.A. E.S.P.



Ilustración 31. Toma de muestra de contenedor de lodo residual planta de tratamiento de agua residual PTAR Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

- Teniendo los insumos completos se puede continuar con el proceso de mezclado de los lodos:

Se inicia con la elaboración de las mezclas para los ladrillos con porcentajes de 80% arcilla fina y 20% de lodo residual de la PTAP. Para la respectiva mezcla de los materiales, se empieza tomando la medida de peso del recipiente utilizado para cargar los materiales para evitar incurrir en errores cuando se hagan las medidas del peso de cada insumo que se va a utilizar en la mezcla. El peso del recipiente (caneca de 5 galones) según la báscula electrónica indica que es de 1.15 kg. Tomando en cuenta que para cada ladrillo se requiere 3 kg de arcilla, se debe sustituir en un 20% esa arcilla por el lodo residual de la PTAP, realizando los cálculos nos arroja valores de 24 kg de arcilla y 6 kg de lodo residual de la para la elaboración de las 10 muestras de ladrillos con ese porcentaje específico de 80% de arcilla y 20% lodo residual de la PTAP.



Ilustración 32. Pesaje de recipiente para mezclado.

Fuente: Autor.



Ilustración 33-34. Pesaje de arcilla y lodo residual para ladrillos con porcentaje 80% - 20% con lodo residual PTAP.

Fuente: Autor.

Se pesan los materiales según los cálculos y se procede a realizar la integración de los mismos, con la ayuda del mezclador anteriormente fabricado y se procura que la mezcla quede lo más homogénea posible. Para esta primera mezcla se utiliza un taladro de 650 Watts de potencia, con el que se pretende realizar la integración de los insumos de forma más efectiva, evidenciando que para evitar sobrecalentamiento del equipo es necesario añadir más agua (8 litros) para reducir el peso de la mezcla, lo que repercute en el aumento del tiempo de secado de las muestras.



Ilustración 35. Mezcla de arcilla con lodo residual PTAP para ladrillos con porcentaje 80% - 20%.

Fuente: Autor.

Para el proceso de mezclado de la muestra con lodo residual PTAR, se realiza el mismo procedimiento de pesaje de insumos con valores de 24 kg de arcilla y 6 kg de lodo residual de la PTAR para la elaboración de las 10 muestras de ladrillos con de 80% de arcilla y 20% lodo residual de la PTAR. Para esta muestra se reduce la cantidad de agua añadida a 6 litros, con lo cual la mezcla se torna más pesada y no permite la utilización del taladro y mezclador. Se sustituye el mezclador por una pala y se continúa con el proceso hasta lograr la consistencia deseada.



Ilustración 36. Mezcla de arcilla con lodo residual PTAR

Para ladrillos con porcentaje 80% - 20%.

Fuente: Autor.

Finalmente se realiza el moldeo de los ladrillos dentro de las gaveras, procurando evitar que haya espacios sin material y burbujas que posteriormente afectarían la calidad del ladrillo terminado.



Ilustración 37. Ladrillos moldeados 80% de arcilla y 20%

Lodo residual PTAR y PTAP.

Fuente: Autor.

Se determina marcar los ladrillos según los porcentajes de arcilla usada y los tipos de lodos residuales empleados para cada ladrillo de la siguiente manera:

- a- “20 P” para las mezclas con porcentajes de 80% de arcilla y 20% de lodo residual de la planta PTAP.
- b- “20 R” para las mezclas con porcentajes de 80% de arcilla y 20% de lodo residual de la planta PTAR.
- c- “30 P” para las mezclas con porcentajes de 70% de arcilla y 30% de lodo residual de la planta PTAP.
- d- “30 R” para las mezclas con porcentajes de 70% de arcilla y 30% de lodo residual de la planta PTAR.

Se realiza proceso de secado de dos días de las muestras iniciales de lodos residuales de la PTAR y la PTAP, observando fisuras en muestras con mayor contenido de humedad. Se procede a retirar de las gaveras y a realizar nueva mezcla para reemplazar las muestras defectuosas.



Ilustración 38-39. Fisuras en muestras por exceso de humedad y retiro de muestras defectuosas.

Fuente: Autor.

Continuando con las mezclas, se preparan las gaveras para mezclar las muestras de reemplazo por fisuras y las muestras con lodo residual de la PTAR con porcentajes de 70% de arcilla y 30% de lodo de la PTAR.

Se ejecuta el mismo procedimiento de pesaje de insumos para las muestras de ladrillos con porcentajes de 70% de arcilla y 30% de lodo de la PTAR, como en las mezclas anteriores.



Ilustración 40-41. Pesaje de arcilla y lodo residual para ladrillos con porcentaje 70% - 30% con lodo residual PTAR.

Fuente: Autor.



Ilustración 42-43. Moldeado y secado de ladrillos 70% de arcilla y 30% lodo residual PTAR.

Fuente: Autor.

Se realiza proceso de secado al ambiente, siguiendo recomendaciones de la ladrillera EL Rubí; el tiempo de secado varía dependiendo las condiciones climáticas, observando que transcurridos dos días las muestras de ladrillos adquieren la suficiente dureza para poder retirar las gaveras y continuar con el proceso de secado.

Transcurridos dos días de haber retirado las gaveras para continuar con el secado de las muestras, se observa que los ladrillos adquieren una consistencia ideal para proceder con la cocción en la ladrillera. Sin embargo, para garantizar que los ladrillos hayan eliminado por completo la humedad y sean aptos para enviar a la ladrillera; se realiza un procedimiento adicional de secado en las cabinas de sopladores de aire de la PTAR.

Previo a realizar este procedimiento adicional de secado, se realizan mediciones de calor dentro de las cabinas de sopladores de aire de los 3 módulos con la ayuda de una cámara termográfica propiedad del área de mantenimiento de Veolia, con el fin de determinar en cuales de estas cabinas se concentra mayor cantidad de calor para introducir las muestras y favorecer al secado óptimo de los ladrillos.

La idea de introducir las muestras de ladrillos en las cabinas de los sopladores, surge de evidenciar que dichas cabinas se produce calor abundante que podría ser aprovechado para el secado.

Los sopladores operan en ciclos continuos de 45 minutos de trabajo y 15 minutos de inactividad, se realizan mediciones durante el ciclo de trabajo y la inactividad, con el fin de obtener registros de las temperaturas que se generan dentro de las cabinas de los sopladores de los 3 módulos y conocer la temperatura promedio a la que van a estar sometidas las muestras de ladrillos.

Luego de realizadas las mediciones de temperatura en las cabinas, se determina que las cabinas que generan mayor calor son las cabinas de sopladores del módulo #1, registrando temperaturas entre los 35 °C y 50 °C.

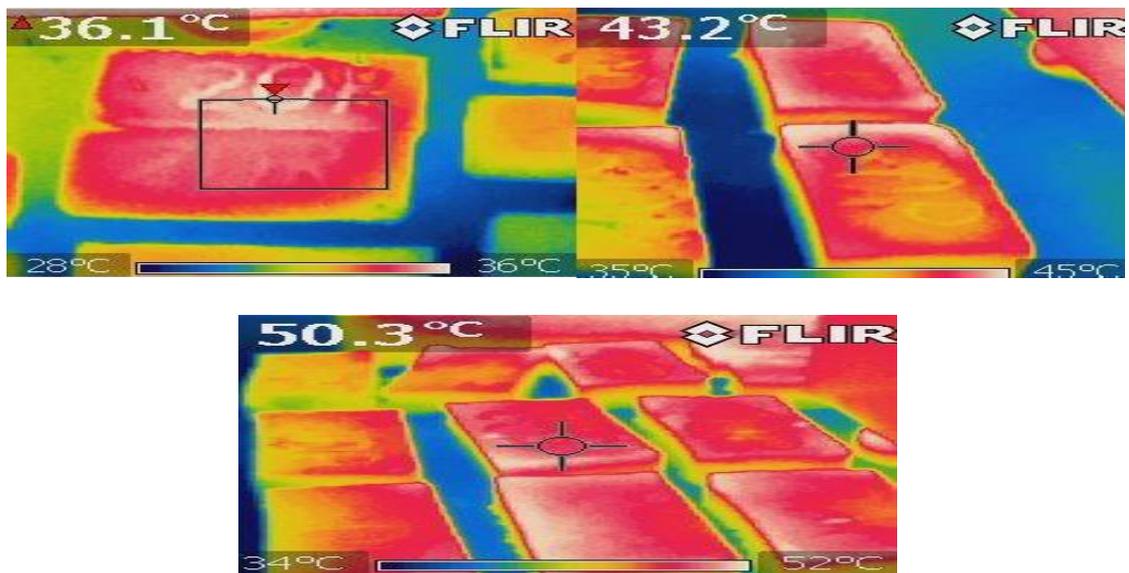


Ilustración 44-45-46. Registros termográficos de Cabinas de sopladores PTAR Veolia Tunja.

Fuente: Autor.



Ilustración 47-48. Secado adicional de ladrillos en cabinas de sopladores.

Fuente: Autor.

Se dejan secar las muestras de ladrillos durante 24 horas en las cabinas de los sopladores, los cuales adquieren las condiciones necesarias para manipularlos y ser llevados a la ladrillera para realizar el proceso de cocción.



Ilustración 49-50. Secado natural de bloques
instalaciones de ladrillera el Rubí S.A.S.

Fuente: Autor.

- Para el proceso de horneado de las muestras que ya se encuentran secas, se tiene previsto realizarlo con la ladrillera El Rubí. Para lo cual se realiza consulta previa con personal de la ladrillera para coordinar fechas para traslado de las muestras. En total se fabricaron 44 muestras, teniendo 10 ladrillos con porcentaje de 80% de arcilla y 20% de lodo residual de la PTAP, 10 ladrillos con porcentaje de 80% de arcilla y 20% de lodo residual de la PTAR, 12 ladrillos con

porcentaje de 70% de arcilla y 30% de lodo residual de la PTAP y 10 ladrillos con porcentaje de 70% de arcilla y 30% de lodo residual de la PTAR.

Se realiza el traslado de los ladrillos hasta la ladrillera y se disponen para el respectivo horneado junto con bloques de arcilla que en el momento se están fabricando. El proceso de horneado tarda un aproximado de 48 horas a temperaturas de entre 800 °C a 1100 °C. Se dejan los ladrillos por una semana en la ladrillera, mientras se realiza la cocción y procesos de retiro de horno junto con los bloques; posteriormente se recogen para ser llevados al laboratorio y realizar las pruebas de resistencia.

El proceso de cocción de los ladrillos se realiza en el horno tipo Hoffman propiedad de la ladrillera el Rubí S.A.S. Luego de ser ingresados los ladrillos y bloques para cocción, se realiza sellado de las cámaras con arcilla para evitar la pérdida de calor durante el proceso.



Ilustración 51-52-53-54. Proceso de horneado de ladrillos en instalaciones de ladrillera el rubí S.A.S.

Fuente: Autor.



Ilustración 55-56-57-58. Muestras de ladrillos luego de cocción.

Fuente: Autor.

Se evidencia que algunas de las muestras de ladrillos fabricadas con lodo residual de la PTAP luego de la cocción presentan huecos y perforaciones, al parecer por presencia de plástico en las muestras de lodos tomadas. Estos residuos de plástico se deben a que durante el proceso de sedimentación del agua potable se usan filtros tipo colmena que en ocasiones desprenden partes plásticas por vida útil, que se mezclan con los lodos deshidratados y son imperceptibles durante el moldeado y fabricación de los ladrillos.



Ilustración 59-60. Ladrillos de lodo residual PTAP con huecos.

Fuente: Autor.

- Una vez cocinados los ladrillos, se envían al laboratorio las muestras para realización de las pruebas de calidad correspondientes y descritas en la norma NTC-4217 de 2018, para concluir cuál de las mezclas de los materiales es la más idónea para usar en el sistema automatizado.

Con el fin de ahorrar recursos económicos para la realización de las pruebas de resistencia, se realiza un estudio estadístico basándose en la norma NTC-ISO 2859 de Procedimientos de muestreo para inspección por atributos parte 10: “Introducción a la serie de normas NTC-ISO 2859 sobre el muestreo para inspección por atributos”.

Nos remitimos a las “tablas militar”, en las cuales se indica de forma detallada los porcentajes de confiabilidad para lotes de muestras y las cantidades que se deben enviar al laboratorio para ser analizadas.

Lot Size	<i>Special Inspection Levels</i>				<i>General Inspection Levels</i>		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I (reducida)	II (normal)	II (rigurosa)
2-8	A	A	A	A	A	A	B
9-15	A	A	A	A	A	B	C
16-25	A	A	B	B	B	C	D
26-50	A	B	B	C	C	D	E
51-90	B	B	C	C	C	E	F
91-150	B	B	C	D	D	F	G
151-280	B	C	D	E	E	G	H
281-500	B	C	D	E	F	H	J
501-1200	C	C	E	F	G	J	K
1201-3200	C	D	E	G	H	K	L
3201-10000	C	D	F	G	J	L	M
10001-35000	C	D	F	H	K	M	N
35001-150000	D	E	G	J	L	N	P
151000-500000	D	E	G	J	M	P	Q
500001-	D	E	H	K	N	Q	R

Figura 19. Tablas militar.

Fuente: Archivos laboratorio de medidores Veolia Tunja.

Inspección Reducida															
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R
2	2	1	3	5	8	13	20	32	50	80	125	200	315	500	800

Inspección Normal															
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R
2	3	5	8	13	20	32	50	80	125	200	315	500	800	1250	2000

Inspección Estricta																
A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S
2	3	5	8	13	20	32	50	80	125	200	315	500	800	1250	2000	3150

Figura 20. Tablas militar (inspección reducida).

Fuente: Archivos laboratorio de medidores Veolia Tunja.

Basándose en la lectura de la tabla, se requiere realizar análisis de por lo menos 13 muestras para realizar una inspección estricta.

CALCULO TAMAÑO DE LA MUESTRA			
Donde:			
[N] Es el tamaño de la población, (p) es el valor poblacional de la proporción, (E) es el error que esta dispuesto a aceptar, y $Z(\alpha/2)$ es el valor de una distribución normal con un nivel de confianza $(1-\alpha)$.			
A continuación se piden los valores de N y P, para así poder mostrar una tabla con un resumen de tamaños de muestras, para niveles de confianza y errores usuales.			
Población	44	P	0,10
Tamaño de Muestra	Error	Nivel de confianza	Uso
30	5%	al 90%	Procesos con algunas variables controladas
16	10%		
9	15%		
5	20%		
34	5%	al 95%	Procesos con variables controladas y verificadas
20	10%		
12	15%		
7	20%		
37	5%	al 99%	Salud
26	10%		
17	15%		
11	20%		

Figura 21. Cálculo de tamaño de la muestra.

Fuente: Archivos laboratorio de medidores Veolia Tunja.

Se introducen los valores del total de muestras fabricadas y el método de cálculo de tamaño de la muestra arroja valores de 16 ladrillos para analizar para tener una confiabilidad de 90% con un error de hasta el 10%. Es decir, trabajar sobre una confiabilidad del 80% en los resultados de los análisis.

Algunas personas pueden estar interesadas en probar con otros niveles de confianza y error, en tales casos:

Error	5%	Alfa	10%
-------	----	------	-----

Tamaño de Muestra	Error	Nivel de confianza
18	5%	90%

EXTRACCION SISTEMATICA DE LA MUESTRA

Para efectuar la extraccion sistematica de una muestra de tamaño n de un lote de tamaño N se procederá como se indica:

- Numerar las unidades del lote de 1 a N
- La parte entera que resulte de la division N/n se tomara como periodo de muestreo
- Elijase al azar un numero t en el intervalo 1 ... s y procedase a muestrear los individuos del lote correspondiente a k
- Extraigase de cada lote (en un orden previamente establecido) las unidades correspondientes a los numeros de ca

Figura 22. Cálculo de tamaño de la muestra.

Fuente: Archivos laboratorio de medidores Veolia Tunja.

Población	22	P	0,10
-----------	----	---	------

Tamaño de Muestra	Error	Nivel de confianza	Uso
18	5%	al 90%	Procesos con algunas variables controladas
12	10%		
7	15%		
5	20%		
19	5%	al 95%	Procesos con variables controladas y verificadas
14	10%		
9	15%		
6	20%		
20	5%	al 99%	Salud
16	10%		
12	15%		
9	20%		

Figura 23. Cálculo de tamaño de la muestra.

Fuente: Archivos laboratorio de medidores Veolia Tunja.

Para lograr un ahorro mayor en el valor total de las pruebas de los ladrillos, se reducen los valores del total de muestras fabricadas a 22 y el método de cálculo de tamaño de la muestra arroja valores de 12 ladrillos para realizar los análisis para tener una confiabilidad de 90% con un error de hasta el 10% y trabajar sobre una confiabilidad del 80% en los resultados de las pruebas.

Se llevaron las muestras al laboratorio de Hermanos López S.A.S. que se encargó de hacer los ensayos de resistencia a compresión, absorción de humedad y módulo de rotura para posterior retroalimentación a la empresa.

6.2 Elaboración de Diagrama P&ID

- Se realiza la propuesta del diseño del P&ID del proceso automatizado llevado a cabo en la planta ladrillera.

Para la primera etapa se tiene en cuenta el cargue de los insumos por medio de volquetas y el lodo de la PTAR por medio de banda transportadora que actualmente posee la planta de tratamiento. En total se van a usar 3 tolvas con sus respectivos sensores de nivel que controlan el llenado de cada tolva y transmisores de peso para controlar las salidas de insumos dependiendo de las mezclas seleccionadas para fabricar.

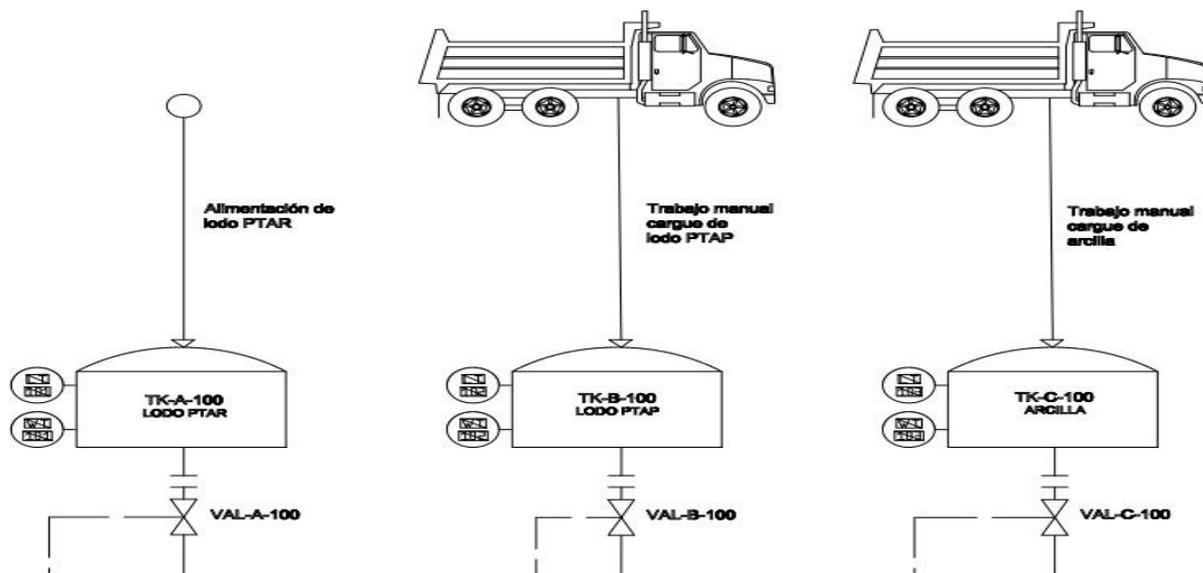


Figura 24. Diseño de P&ID primera etapa.

Fuente: Autor.

- Para la segunda etapa se tiene la salida de las 3 tolvas de productos que van a alimentar al dosificador alimentador, que es el encargado de entregar de manera controlada el producto para ser mezclado en la amasadora. Este dosificador tiene asociado un transmisor de nivel para que envíe la alerta para el cierre de las válvulas

cuando este alcance su máxima capacidad. Este alimentador a su vez lleva el producto al mezclador por medio de la banda transportadora T-A-100.

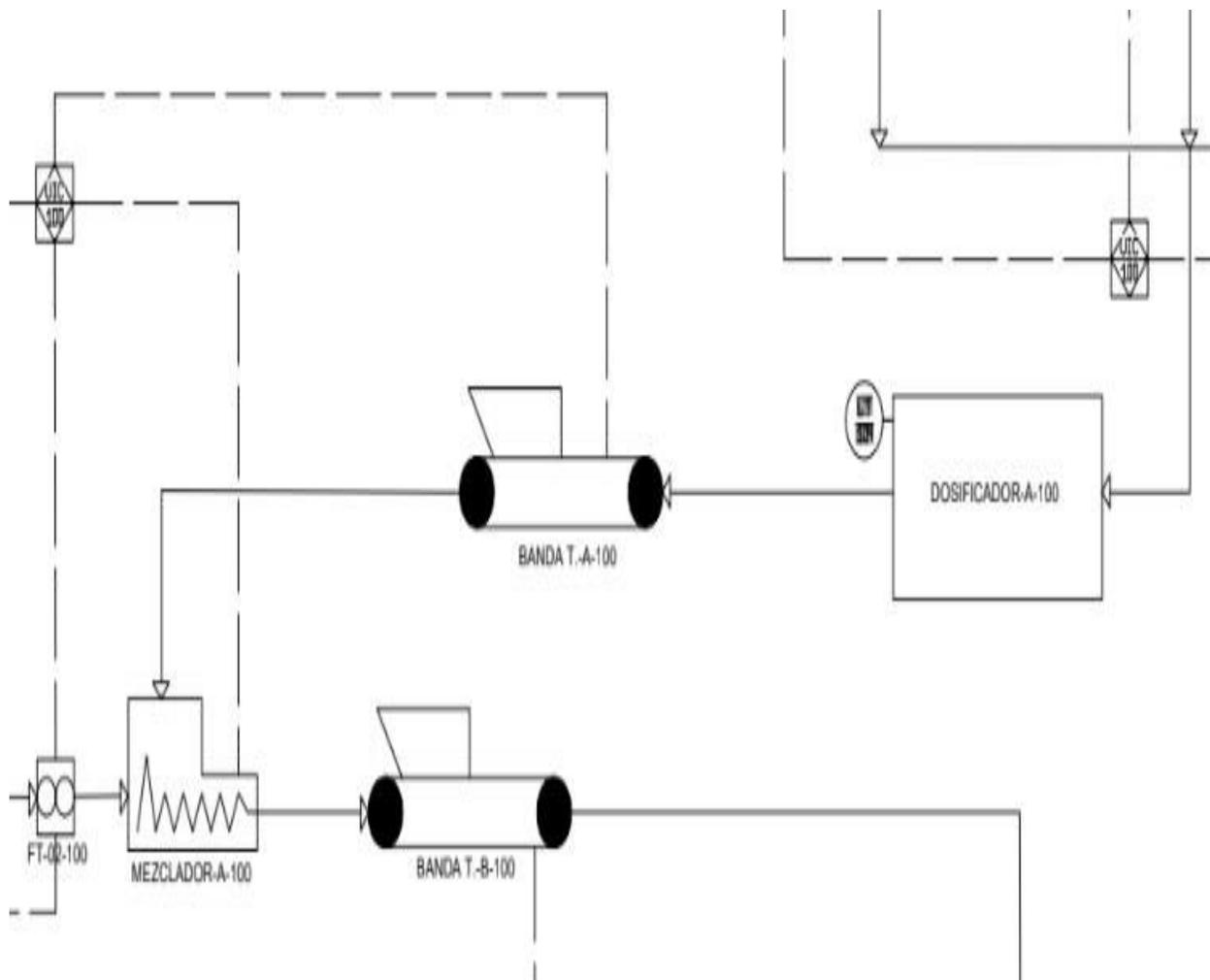


Figura 25. Diseño de P&ID segunda etapa.

Fuente: Autor.

- La tercera etapa involucra el proceso de alimentación de agua para el mezclador. Se debe contar con una bomba que alimenta al tanque TK-A-200 que cuenta con un transmisor de nivel de llenado. Se deben tener elementos de control como la electroválvula VAL-A-200 y medición de caudal instantáneo por el transmisor de flujo FT-01-200.

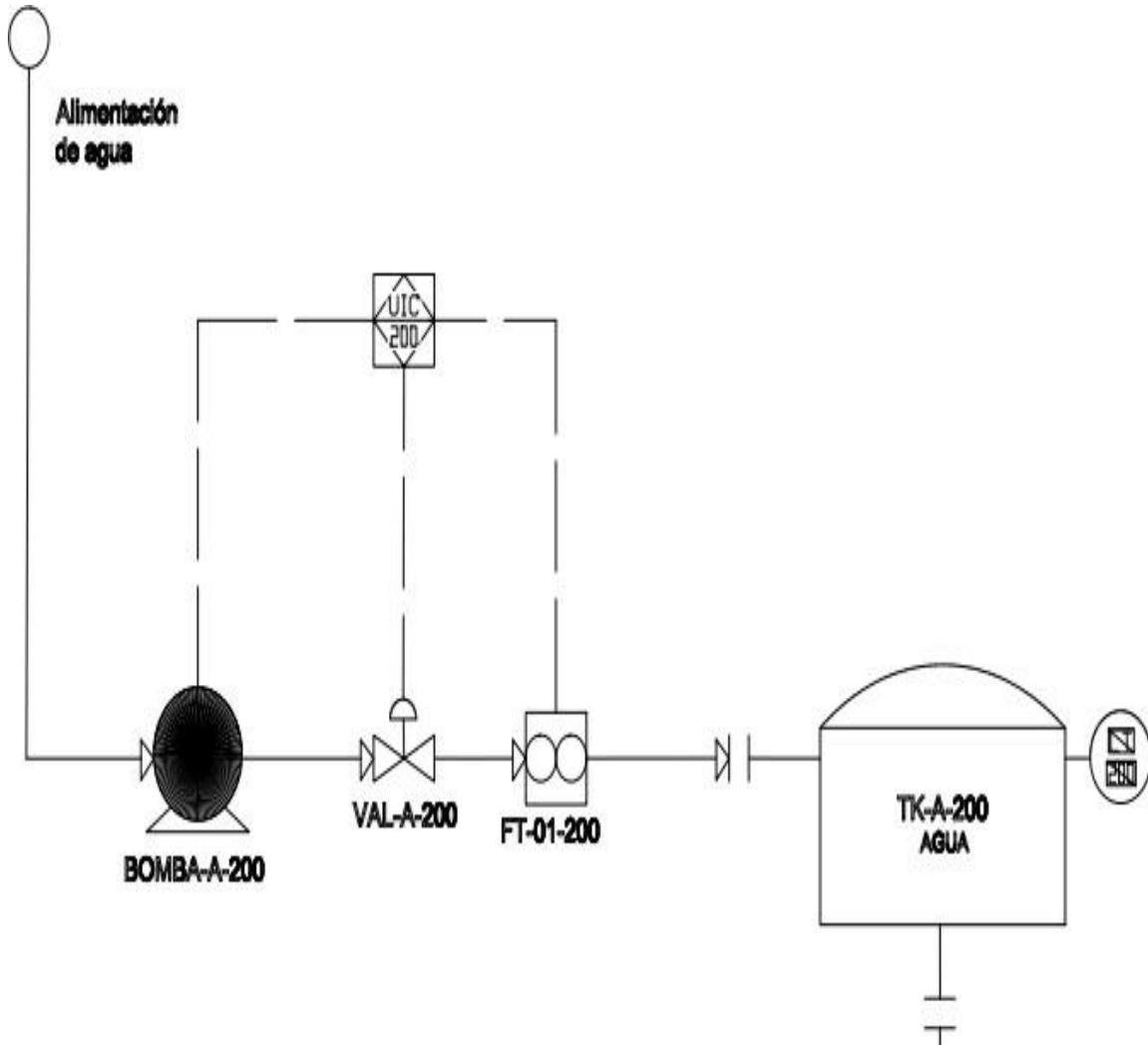


Figura 26. Diseño de P&ID tercera etapa

Fuente: Autor.

La continuación de la etapa 3 involucra la entrada de agua al mezclador que es controlada por el transmisor de nivel FT-02-100 que a su vez regula el paso de caudal por la electroválvula VAL-D-100.

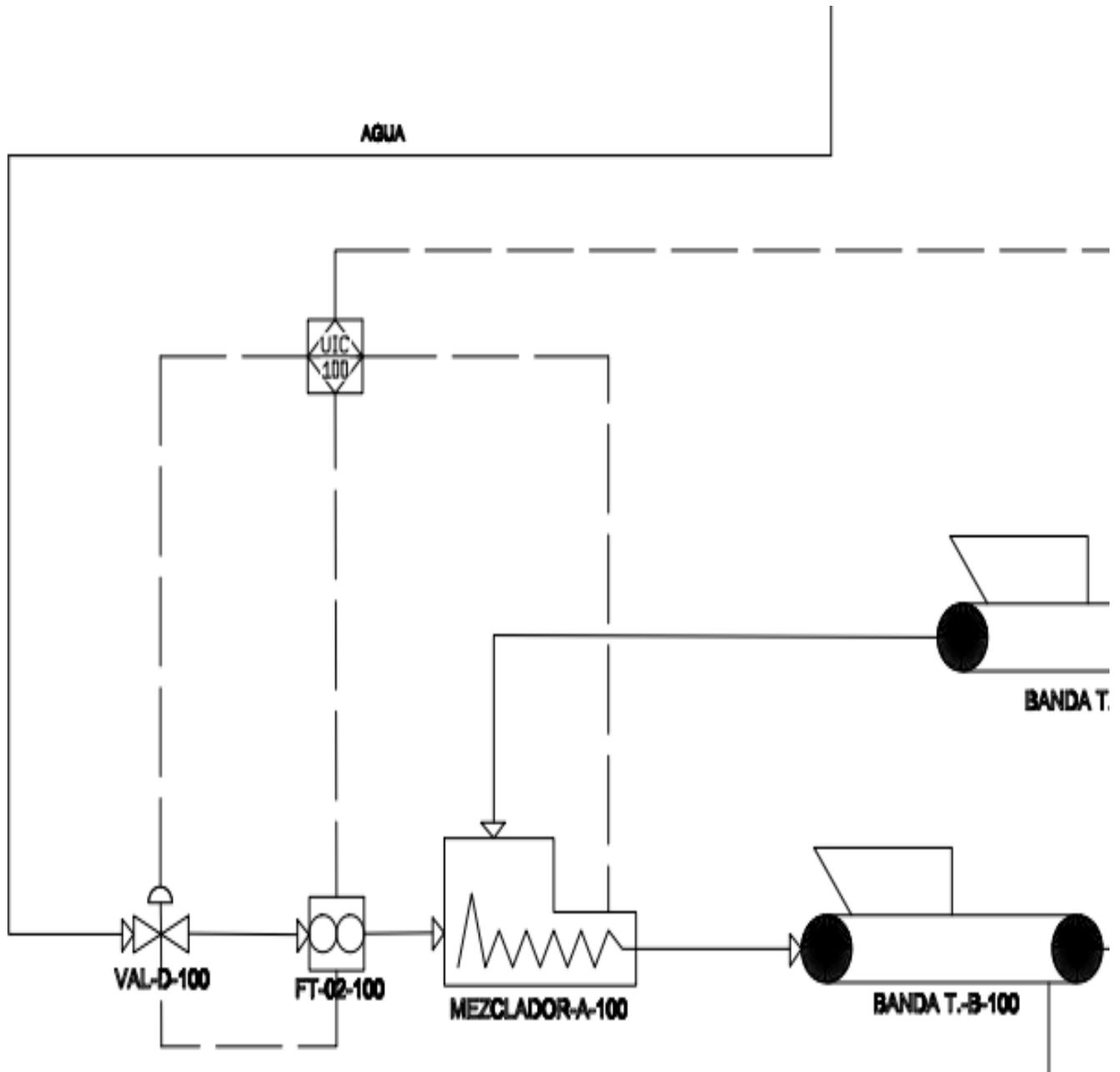


Figura 27. Diseño de P&ID tercera etapa

Fuente: Autor.

- Una final y cuarta etapa comienza desde el paso del producto mezclado por la amasadora por la banda transportadora T-B-100 hacia el laminador A-100, donde se extraen excesos de agua y aire de la mezcla para ser transportado hacia la extrusora-A-100

mediante la banda transportadora T-C-100. Luego de formados los bloques o ladrillos, se transportan por la banda transportadora T-D-100 los lingotes que serán cortados a medidas específicas por la cortadora-A-100 que tiene asociado un sensor de proximidad que dará la longitud adecuada de los ladrillos. Adicionalmente se cuenta con sensores de proximidad PS-101 y PS-102 para control de encendido de equipos.

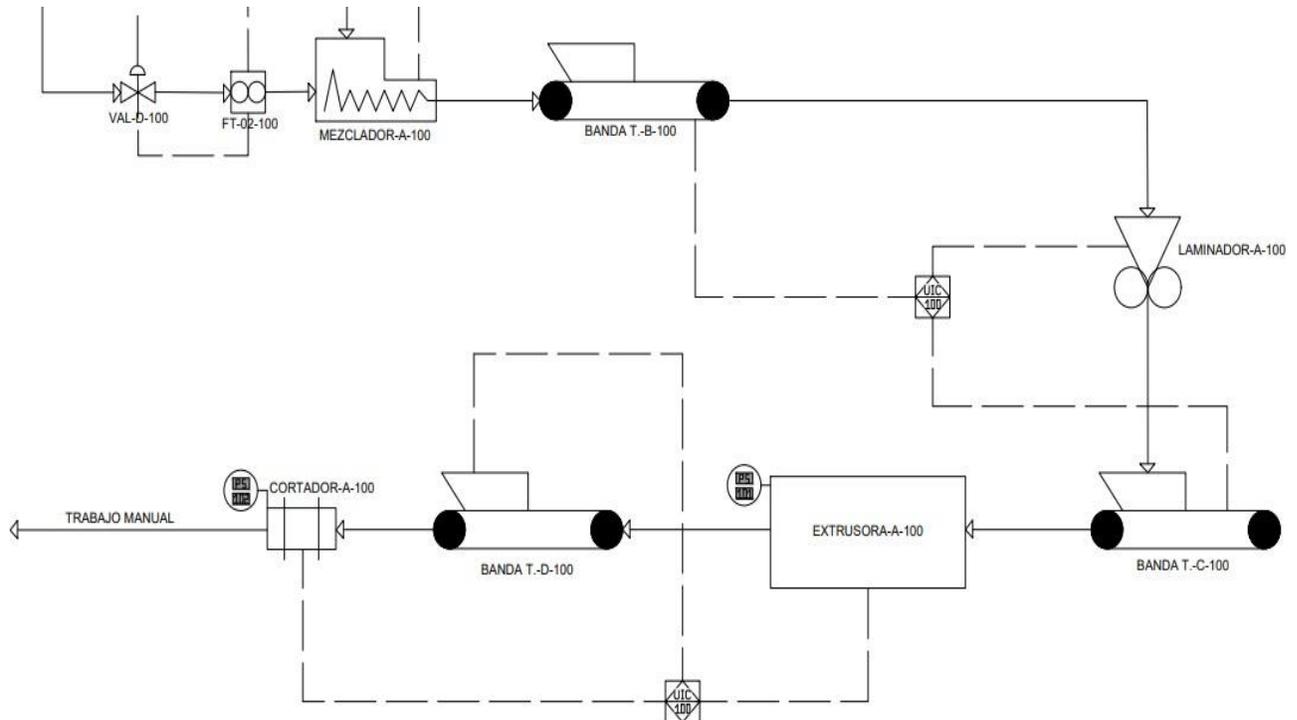


Figura 28. Diseño de P&ID cuarta etapa

Fuente: Autor.

Con el diseño del diagrama P&ID se concluye la segunda etapa propuesta en los objetivos específicos de la propuesta. Se incluyen todos los equipos necesarios para realizar la programación del PLC y diseño de SCADA del proces.

6.3 Configuración de variables de control en software Schneider electric e indusoft web studio

- Para la selección del PLC, se debe conocer todos los instrumentos y maquinaria involucrados en el proceso de automatización. Teniendo los siguientes elementos:

Tabla 1. Lista de Instrumentos.

INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN/FUNCIÓN
LT-101	TRANSMISOR DE NIVEL TANQUE LODO PTAR
LT-102	TRANSMISOR DE NIVEL TANQUE LODO PTAP
LT-103	TRANSMISOR DE NIVEL TANQUE ARCILLA
LT-104	TRANSMISOR DE NIVEL DOSIFICADOR ALIMENTADOR
LT-201	TRANSMISOR DE NIVEL TANQUE DE AGUA

WT-101	TRANSMISOR DE PESO TANQUE LODO PTAR
WT-102	TRANSMISOR DE PESO TANQUE LODO PTAP
WT-103	TRANSMISOR DE PESO TANQUE ARCILLA
PS-101	SENSOR DE PROXIMIDAD DE EXTRUSORA
PS-102	SENSOR DE PROXIMIDAD DE CORTADOR
FT-01-200	TRANSMISOR DE FLUJO SALIDA DE BOMBA-A-200
FT-02-100	TRANSMISOR DE FLUJO ENTRADA A MEZCLADOR (AMASADORA)

Nota: Elaboración de autor, mayo de 2023.

Tabla 2. Lista de Maquinaria y equipamiento.

EQUIPO O MÁQUINA	DESCRIPCIÓN/FUNCIÓN
BANDA T.-A-100	BANDA TRANSPORTADORA QUE ALIMENTA A MEZCLADOR
BANDA T.-B-100	BANDA TRANSPORTADORA QUE ALIMENTA A LAMINADOR
BANDA T.-C-100	BANDA TRANSPORTADORA QUE ALIMENTA A EXTRUSORA
BANDA T.-D-100	BANDA TRANSPORTADORA DE SALIDA DE LADRILLOS CORTADOS
MEZCLADOR-A-100	HOMOGENIZA LA (AMASADORA) MEZCLA
LAMINADOR-A-100	ELIMINA BOLSAS DE AIRE Y EXCESO DE AGUA

DOSIFICADOR-A-100	DOSIFICA CANTIDAD DE ENTRADA DE INSUMOS A MEZCLADOR
EXTRUSORA-A-100	DA FORMA AL LADRILLO
CORTADOR-A-100	CORTA LOS LADRILLOS

Nota: Elaboración de autor, mayo de 2023.

Tabla 3. Lista de Válvulas.

EQUIPO	DESCRIPCIÓN/FUNCIÓN
VAL-A-100	SALIDA DE TANQUE LODO PTAR
VAL-B-100	SALIDA DE TANQUE LODO PTAP
VAL-C-100	SALIDA DE TANQUE ARCILLA
VAL-D-100	ENTRADA A MEZCLADOR
VAL-A-200	SALIDA DE BOMBA-A-200

Nota: Elaboración de autor, mayo de 2023.

De acuerdo a las entradas y salidas del P&ID, se ha seleccionado un PLC de la marca Schneider Electric modelo M221.

Se seleccionó un equipo que cuenta con 24 entradas digitales y 16 salidas de transistor, adicionalmente con módulos de expansión para las entradas analógicas de 4/20 mA (nivel, caudales, celdas de peso) y módulo de salidas analógicas en caso de que se requiera hacer algún tipo de variación de velocidad en motores o regulación sobre válvulas con actuadores.

Para la comunicación, así mismo se ha seleccionado un PLC que cuenta con puerto ETHERNET y protocolo modbus TCP/IP, lo que permitirá la comunicación entre el PLC y el SCADA.

El controlador seleccionado se referencia a continuación:

	Referencia	TM221CE40T
	Descripción	TM221CE40T (tornillo) 24 entradas digitales, 16 salidas de transistor de común positivo (0,5 A), 2 entradas analógicas, 1 puerto de línea serie, 1 puerto Ethernet, controlador compacto de 24 V CC con bloques de terminales extraíbles.
	Alimentación suministrada al bus de E/S	5V: 520 mA / 24V: 304 mA

Figura 29. Controlador PLC Schneider Electric m221.

Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta la cantidad salidas digitales requeridas, se hace selección del siguiente módulo de expansión:

	Referencia	TM2DDO32TK
	Descripción	TM2DDO32TK Módulo de ampliación con 32 salidas (transistores de común positivo de 0,4 A), 2 líneas comunes y conector HE10 (MIL 20)
	Consumo en el bus de E/S	5V: 25 mA / 24V: 40 mA

Figura 30. Módulo de expansión salidas digitales PLC Schneider Electric m221.

Fuente: Autor.

Con relación a las entradas analógicas requeridas, se seleccionan 2 módulos de expansión con las siguientes especificaciones:

	Referencia	TM2AMI8HT
	Descripción	TM2AMI8HT Módulo de ampliación de 8 entradas analógicas, (0 - 10 V, 0 - 20 mA), 10 bits y bloque de terminales extraíble.
	Consumo en el bus de E/S	5V: 50 mA / 24V: 0 mA

Figura 31. Módulo de expansión entradas analógicas PLC Schneider Electric m221.

Fuente: Autor.

Salida analógica requerida para control de regulación por medio de PID.

	Referencia	TM2AM01HT
	Descripción	TM2AM01HT Módulo de ampliación con 1 salida analógica (0 - 10 V, de 4 a 20 mA), 12 bits y terminal de tornillo extraíble.
	Consumo en el bus de E/S	5V: 50 mA / 24V: 0 mA

Figura 32 Módulo de expansión entradas analógicas PLC

Fuente: Autor.

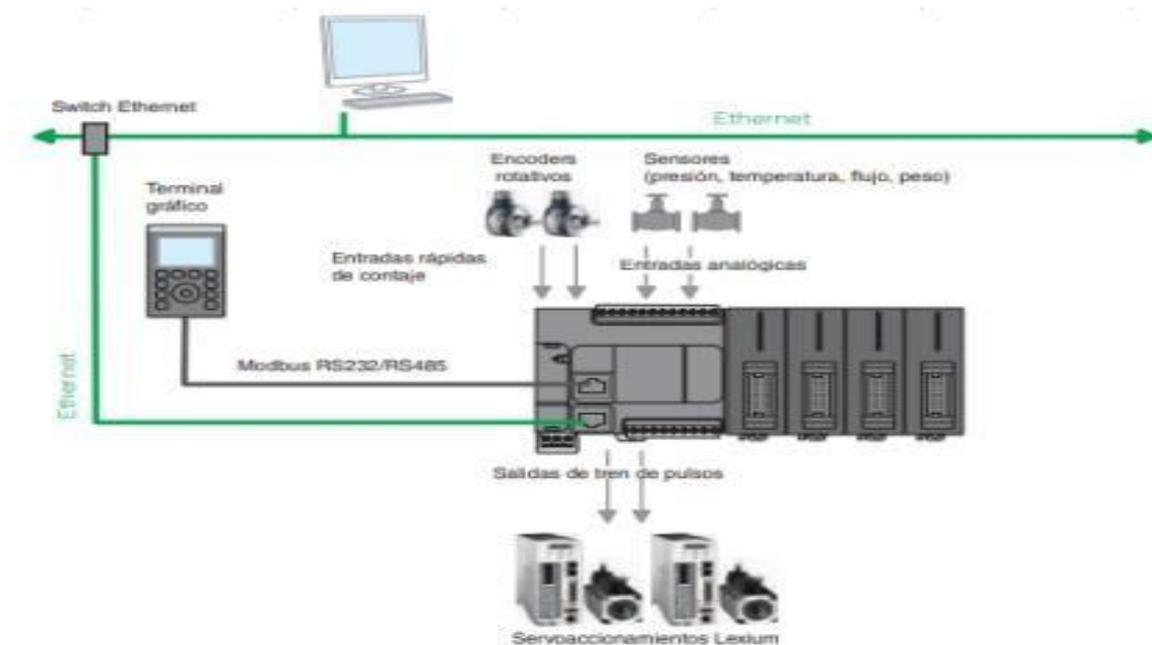


Figura 33. Esquema de conexiones PLC Schneider Electric m221.

Fuente: Autor.



Figura 34. PLC Schneider Electric m221.

Fuente: Autor.

- ***Especificaciones técnicas del PLC:***

Este producto forma parte de la gama Modicon M221, una oferta de controladores lógicos programables para arquitecturas cableadas. Este controlador lógico proporciona 14 entradas discretas y 10 salidas de relé con resolución de entrada de 10 bits, salida de relé normalmente abierta. Es un controlador lógico Modicon con una tensión de alimentación nominal de 100V a 240V CA, una tensión de salida de 5V a 125V CC, de 5V a 250V CA y una corriente de salida de 2A con lógica de entrada de fuente o colector. Este producto requiere una instalación mínima y ofrece una gran versatilidad. Las conexiones integradas son puerto USB con conector mini B USB 2.0, serial 1 de enlace serie no aislado con conector RJ45 y interfaz RS485 y serial 2 de enlace serial no aislado con conector RJ45 e interfaz RS232/RS485. Sus dimensiones son 110mm (ancho) x 70mm (profundidad) x 90mm (altura). Pesa 0,395kg. Este producto está certificado por CE, IACS E10, RCM, ABS, LR, DNV-GL, CSA, EAC y CULus. Cumple las normas EN/IEC 60664-

1, EN/IEC 61131-2 y EN/IEC 61010-2-201. Soporta montaje en riel DIN. Logre un rendimiento de referencia mientras aumenta la rentabilidad con Modicon M221 a través de una programación de máquinas intuitiva con EcoStruxure Machine Expert Basic. (Schneider Electric, 2023)

- Tomando como referencia el P&ID diseñado anteriormente, se realiza el diseño del SCADA con sus respectivos elementos de control:

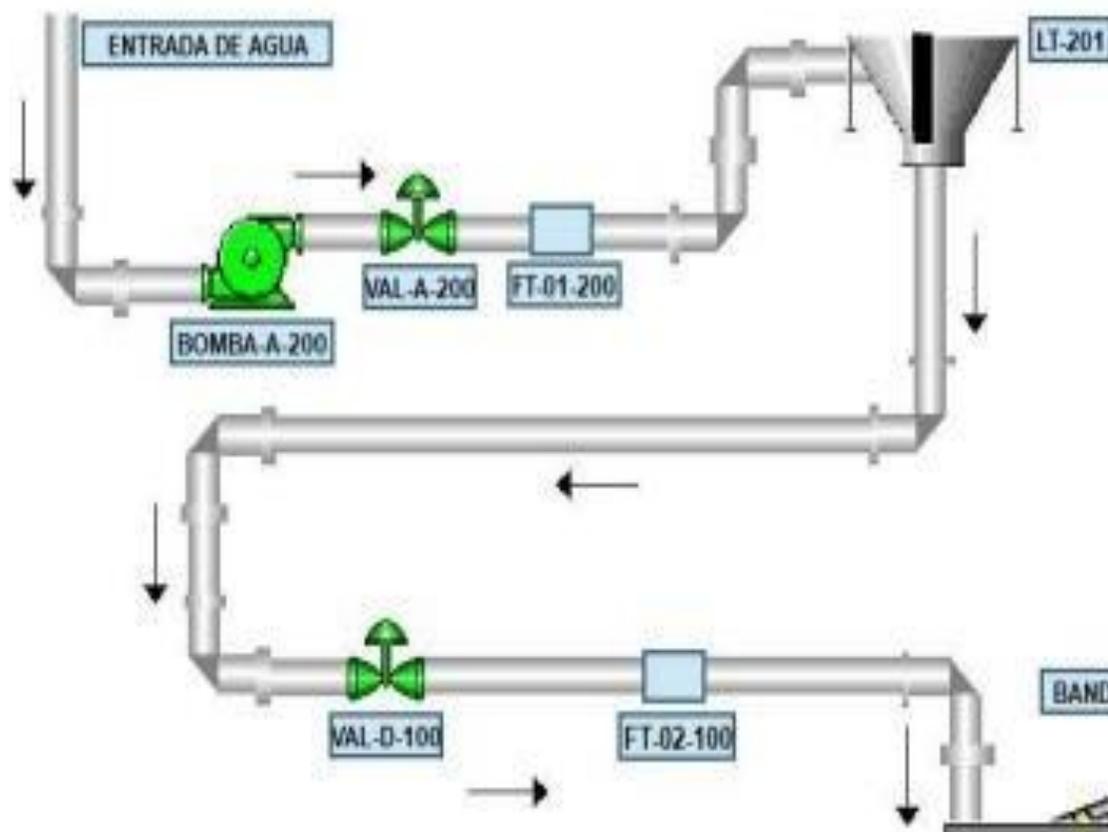


Figura 35. Diseño de SCADA sistema de alimentación de agua para ladrillera de Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

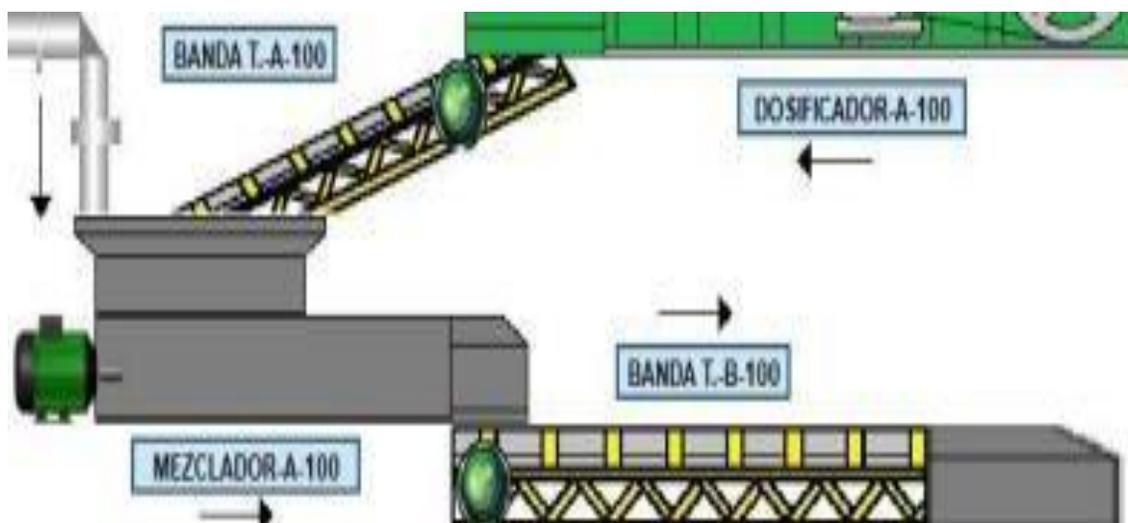


Figura 36. Diseño de SCADA mezclador para ladrillera de Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

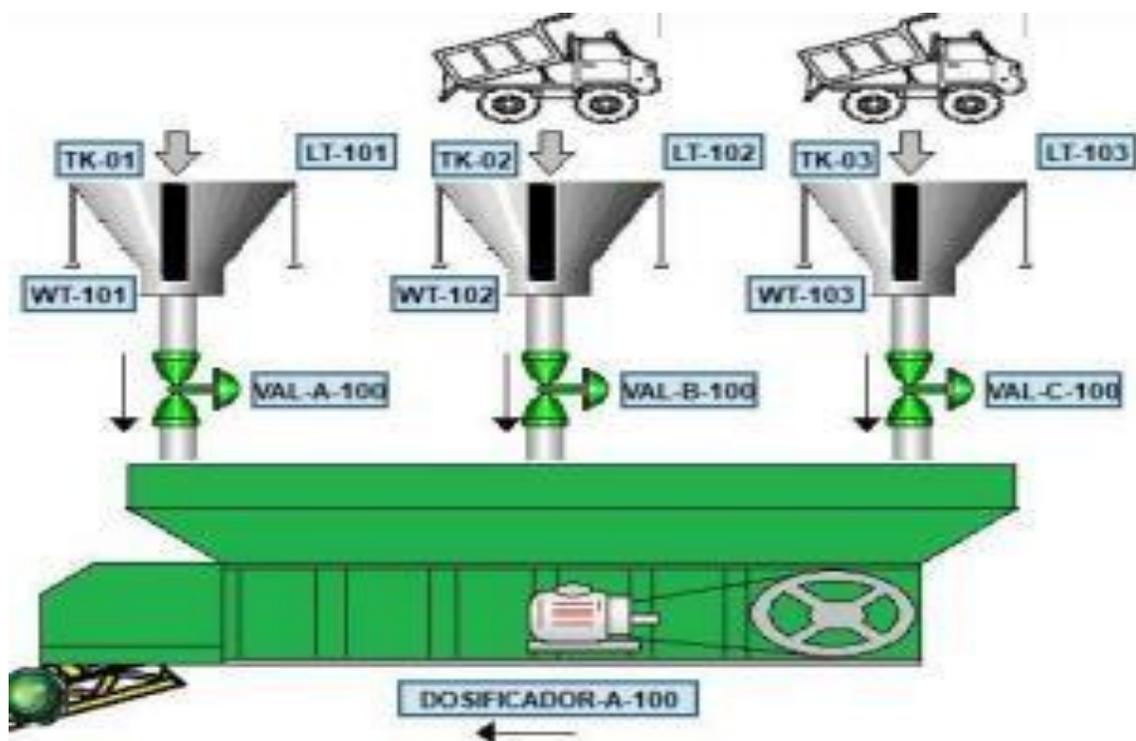


Figura 37. Diseño de SCADA tanques de almacenamiento y dosificador de insumos para mezclador ladrillera de Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

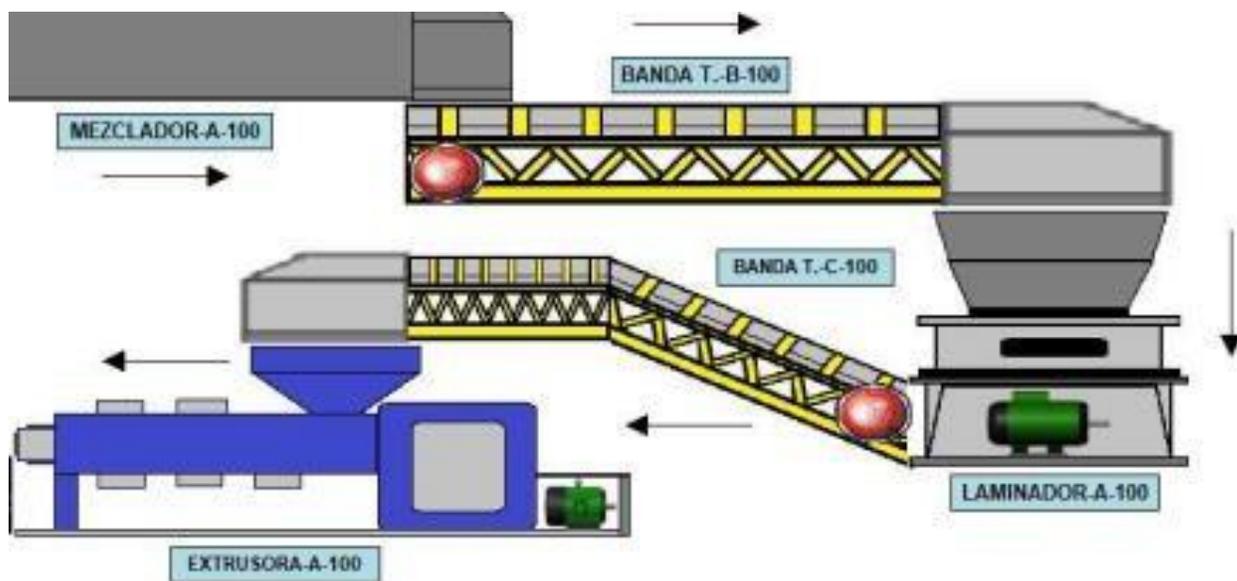


Figura 38. Diseño de SCADA laminador y extrusora para ladrillera de Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

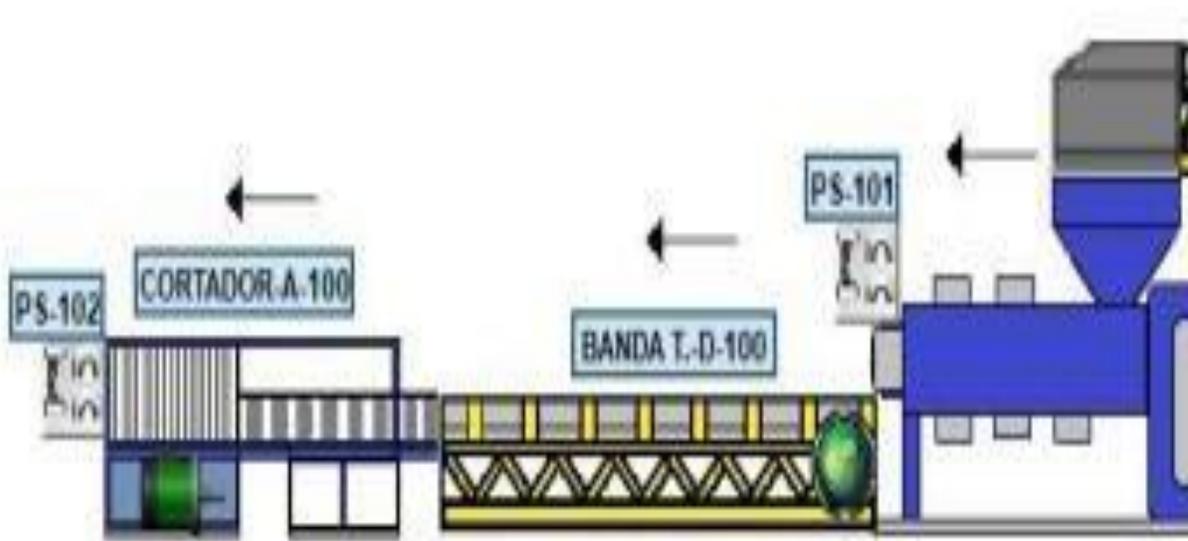


Figura 39. Diseño de SCADA extrusión y corte de bloques para ladrillera de Veolia Tunja.

Fuente: Autor.

Una vez realizado el diseño del SCADA del proceso, se procedió a programar el PLC de acuerdo con los parámetros requeridos:

- Se comienza con la definición de las variables de control del proceso.

Rung0 - PESO MÁXIMO TANQUE LODO PTAR

Comentario: VERIFICACIÓN DE NIVELES E INDICACIÓN DE MÁXIMO PESO TANQUE #1 LODO PTAR



Variables utilizadas:

%IW2.5	WT_101	SENSOR DE PESO WT-101
%Q0.14	MAX_WT_101	MAX-WT-101

Figura 40. Máximo nivel lodo PTAR.

Fuente: Autor.

Rung1 - PESO MÁXIMO TANQUE LODO PTAP

Comentario: VERIFICACIÓN DE NIVELES E INDICACIÓN DE MÁXIMO PESO TANQUE #2 LODO PTAP



Variables utilizadas:

%IW2.6	WT_102	SENSOR DE PESO WT-102
%Q0.15	MAX_WT_102	MAX-WT-102

Figura 41. Máximo nivel lodo PTAP.

Fuente: Autor.

Rung2 - PESO MÁXIMO TANQUE ARCILLA

Comentario: VERIFICACIÓN DE NIVELES E INDICACIÓN DE MÁXIMO PESO TANQUE #3 ARCILLA



Variables utilizadas:

%IW2.7	WT_103	SENSOR DE PESO WT-103
%Q1.0	MAX_WT_103	MAX-WT-103

Figura 42. Máximo nivel arcilla.

Fuente: Autor.

Rung3 - PESO MÍNIMO TANQUE LODO PTAR

Comentario: VERIFICACIÓN DE NIVELES E INDICACIÓN DE MÍNIMO PESO TANQUE #1 LODO PTAR



Variables utilizadas:

%IW2.5	WT_101	SENSOR DE PESO WT-101
%Q1.1	MIN_WT_101	MIN-WT-101

Figura 43. Peso mínimo lodo PTAR.

Fuente: Autor.

Rung4 - PESO MÍNIMO TANQUE LODO PTAP

Comentario: VERIFICACIÓN DE NIVELES E INDICACIÓN DE MÍNIMO PESO TANQUE #2 LODO PTAP



Variables utilizadas:

%IW2.6	WT_102	SENSOR DE PESO WT-102
%Q1.2	MIN_WT_102	MIN-WT-102

Figura 44. Peso mínimo lodo PTAP.

Fuente: Autor.

Rung5 - PESO MÍNIMO TANQUE ARCILLA

Comentario: VERIFICACIÓN DE NIVELES E INDICACIÓN DE MÍNIMO PESO TANQUE #3 ARCILLA



Variables utilizadas:

%IW2.7	WT_103	SENSOR DE PESO WT-103
%Q1.3	MIN_WT_103	MIN-WT-103

Figura 45. Peso mínimo arcilla.

Fuente: Autor.

Rung6 - NIVEL MÁXIMO DOSIFICADOR

Comentario: VERIFICACIÓN DE NIVELES E INDICACIÓN DE MÁXIMO NIVEL DE DOSIFICADOR



Variables utilizadas:

%IW2.3	LT_104	SENSOR DE NIVEL LT-104
%Q1.17	MAX_LT_104	MAX-LT-104

Figura 46. Nivel máximo dosificador.

Fuente: Autor.

Rung7 - NIVEL MÍNIMO DOSIFICADOR

Comentario: VERIFICACIÓN DE NIVELES E INDICACIÓN DE MÍNIMO NIVEL DE DOSIFICADOR



Variables utilizadas:

%IW2.3	LT_104	SENSOR DE NIVEL LT-104
%Q1.18	MIN_LT_104	MIN-LT-104

Figura 47. Nivel mínimo dosificador.

Fuente: Autor.

Rung8 - NIVEL MÁXIMO TANQUE DE AGUA

Comentario: SEÑAL NIVEL MÁXIMO TANQUE DE AGUA



Variables utilizadas:

%IW2.4	LT_201	SENSOR DE NIVEL LT-201
%Q1.19	MAX_LT_201	MAX-LT-201

Figura 48. Nivel máximo dosificador.

Fuente: Autor.

Rung9 - NIVEL MÍNIMO TANQUE DE AGUA

Comentario: SEÑAL NIVEL MÁXIMO TANQUE DE AGUA



Variables utilizadas:

%IW2.4	LT_201	SENSOR DE NIVEL LT-201
%Q1.20	MIN_LT_201	MIN-LT-201

Figura 49. Nivel mínimo agua

Fuente: Autor.

Rung10 - ALERTA REVISIÓN DE BOMBA DE AGUA

Comentario: ENVÍO DE ALERTA PARA REVISIÓN DE BOMBA DE AGUA POR BAJO CAUDAL



Variables utilizadas:

%M3	REV_BOMBA_AGUA	
%Q1.21	LOW_FT_01_200	LOW-FT-01-200

Figura 50. Alerta de revisión de bomba.

Fuente: Autor.

Rung11 - PARO DE EMERGENCIA

Comentario: PARO DE EMERGENCIA



Variables utilizadas:

%I0.0	PE	PARO DE EMERGENCIA
%M4	PARO_EMERGENCIA	PARO DE EQUIPOS POR EMERGENCIA

Figura 51. Alerta de revisión de bomba.

Fuente: Autor.

Con las variables listas, se procedió a realizar el inicio del proceso. Se encienden equipos luego de realizar la selección del proceso de ladrillo.

Rung12 - ENCENDIDO EQUIPOS PROCESO PTAR

Comentario: SELECCIÓN DE RECETA PARA LADRILLOS PTAR

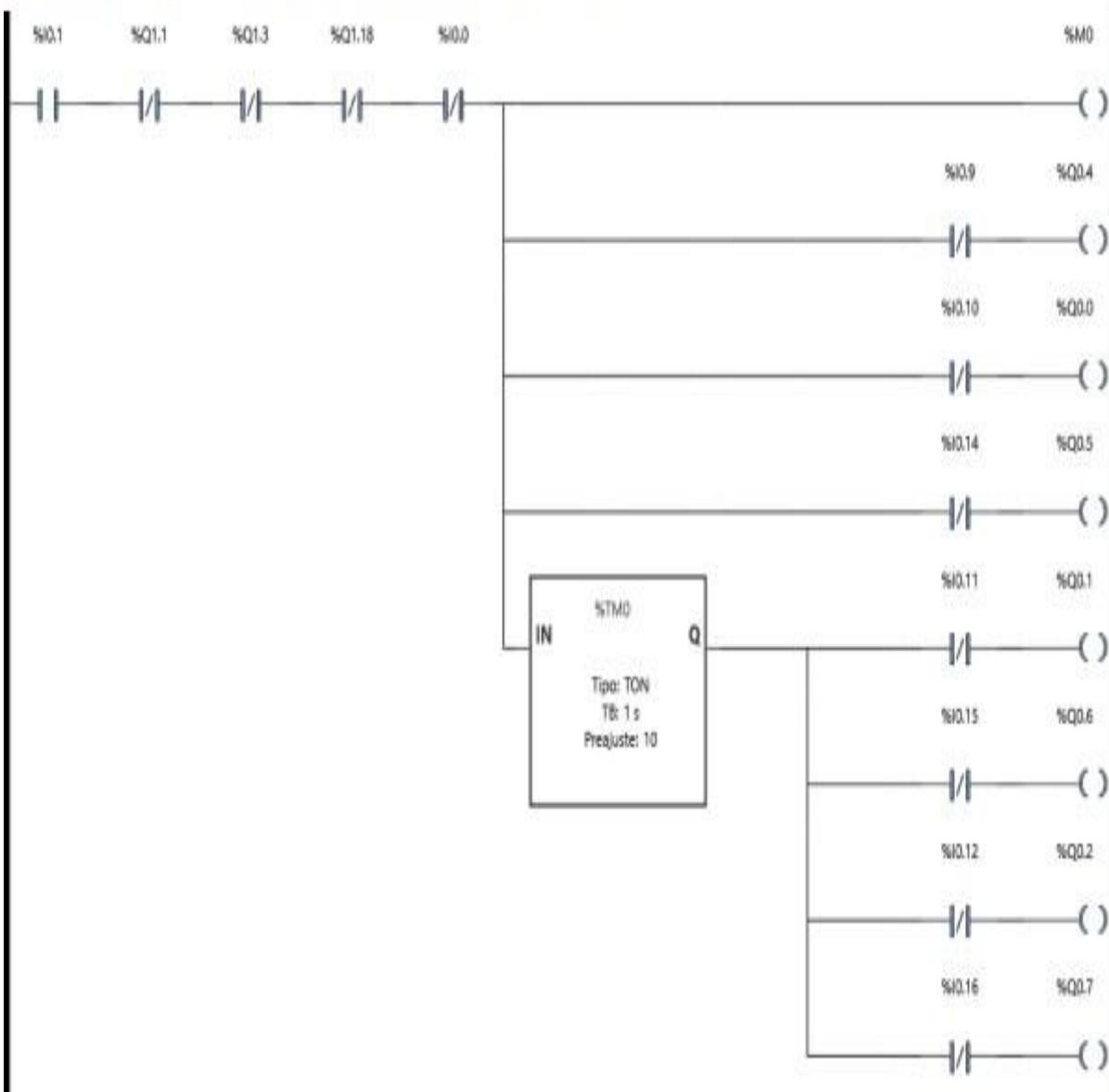


Figura 52. Encendido de equipos proceso PTAR.

Fuente: Autor.

%I0.0	PE	PARO DE EMERGENCIA
%I0.1	LAD_PTAR	SELECCIÓN LADRILLOS PTAR
%I0.9	FAIL_DOS_A_100	FALLO DOSIFICADORA A 100
%I0.10	FAIL_BT_A_100	FALLO BANDA TRANSPORTADORA A 100
%I0.11	FAIL_BT_B_100	FALLO BANDA TRANSPORTADORA B 100
%I0.12	FAIL_BT_C_100	FALLO BANDA TRANSPORTADORA C 100
%I0.14	FAIL_MEZ_A_100	FALLO MEZCLADORA A 100
%I0.15	FAIL_LAM_A_100	FALLO LAMINADORA A 100
%I0.16	FAIL_EXT_A_100	FALLO EXTRUSORA A 100
%M0	SEL_LAD_PTAR	SELECCIÓN DE RECETA LADRILLO PTAR
%Q0.0	BANDA_T_A_100_R	BANDA T.-A-100-R
%Q0.1	BANDA_T_B_100_R	BANDA T.-B-100-R
%Q0.2	BANDA_T_C_100_R	BANDA T.-C-100-R
%Q0.4	DOSIFICADOR_A_100_R	DOSIFICADOR-A-100-R
%Q0.5	MEZCLADOR_A_100_R	MEZCLADOR-A-100-R
%Q0.6	LAMINADOR_A_100_R	LAMINADOR-A-100-R
%Q0.7	EXTRUSORA_A_100_R	EXTRUSORA-A-100-R
%Q1.1	MIN_WT_101	MIN-WT-101
%Q1.3	MIN_WT_103	MIN-WT-103
%Q1.18	MIN_LT_104	MIN-LT-104
%TM0	TEMP_01	TEMPORIZADOR DE ENCENDIDO DE MÁQUINAS

Figura 53. Variables encendido de equipos proceso PTAR.

Fuente: Autor.

Después de seleccionar el proceso de ladrillos PTAR, se realiza apertura de válvulas para dosificar material necesario para comenzar la fabricación de los ladrillos.

Rung13 - APERTURA VÁLVULAS PROCESO PTAR

Comentario: APERTURA DE VÁLVULAS INICIO DE PROCESO LADRILLOS PTAR



Variables utilizadas:

%I0.0	PE	PARO DE EMERGENCIA
%I0.4	FAIL_VAL_A_100	FALLO DE VALVULA A 100
%I0.6	FAIL_VAL_C_100	FALLO DE VALVULA C 100
%M0	SEL_LAD_PTAR	SELECCIÓN DE RECETA LADRILLO PTAR
%Q0.9	VAL_A_100_R	VAL-A-100-R
%Q0.11	VAL_C_100_R	VAL-C-100-R

Figura 54. Dosificación de materiales.

Fuente: Autor.

Se programa dosificación de agua para mezclador.

Rung14 - REGULACIÓN VALVULA MEZCLADOR PTAR

Comentario: APERTURA DE VÁLVULA DOSIFICADORA DE AGUA PARA MEZCLADOR PROCESO LADRILLOS PTAR



Variables utilizadas:

%I0.0	PE	PARO DE EMERGENCIA
%I0.8	FAIL_VAL_D_100	FALLO DE VALVULA D 100
%M0	SEL_LAD_PTAR	SELECCIÓN DE RECETA LADRILLO PTAR
%Q0.12	VAL_D_100_R	VAL-D-100-R

Figura 55. Dosificación de materiales.

Fuente: Autor.

El encendido de la banda transportadora de la extrusora y la cortadora se programa cuando se active el sensor PS-101.

Rung15 - ENCENDIDO DE BANDA TRANSPORTADORA DE EXTRUSORA Y CORTADORA

Comentario: ENCENDIDO DE BANDA TRANSPORTADORA DE EXTRUSORA Y CORTADORA CUANDO SE ACTIVE PS_101



Variables utilizadas:

%I0.0	PE	PARO DE EMERGENCIA
%I0.13	FAIL_BT_D_100	FALLO BANDA TRANSPORTADORA D 100
%I0.17	FAIL_CORT_A_100	FALLO CORTADORA A100
%I0.19	PS_101	SENSOR DE PROXIMIDAD 101
%Q0.3	BANDA_T_D_100_R	BANDA T.-D-100-R
%Q0.8	CORTADOR_A_100_R	CORTADOR-A-100-R

Figura 56. Encendido de banda T.-D-100, extrusora y cortadora.

Fuente: Autor.

Rung16 - FINALIZACIÓN DE PROCESO

Comentario: CUANDO SE ACTIVE PS_102 Y ENVÍO DE SEÑAL DE FINALIZACIÓN DE PROCESO



Variables utilizadas:

%I0.20	PS_102	SENSOR DE PROXIMIDAD 102
%M2	END_PROCESS	FINALIZACIÓN DE PROCESO

Figura 57. Señal de finalización de proceso PTAR.

Fuente: Autor.

Tabla 4. Símbolos PLC.

Utilizado	Dirección	Símbolo	Comentario
X	%I0.1	LAD_PTAR	SELECCIÓN LADRILLOS PTAR
X	%I0.2	LAD_PTAP	SELECCIÓN LADRILLOS PTAP
X	%I0.4	FAIL_VAL_A_100	FALLO DE VALVULA A 100
X	%I0.5	FAIL_VAL_B_100	FALLO DE VALVULA B 100
X	%I0.6	FAIL_VAL_C_200	FALLO DE VALVULA C 200
X	%I0.8	FAIL_VAL_D_100	FALLO DE VALVULA D 100
X	%I0.9	FAIL_DOS_A_100	FALLO DOSIFICADORA A 100
X	%I0.10	FAIL_BT_A_100	FALLO BANDA TRANSPORTADORA A 100 FALLO
X	%I0.11	FAIL_BT_B_100	BANDA TRANSPORTADORA B 100 FALLO BANDA
X	%I0.12	FAIL_BT_C_100	TRANSPORTADORA C 100 FALLO BANDA
X	%I0.13	FAIL_BT_D_100	TRANSPORTADORA D 100 FALLO MEZCLADORA A
X	%I0.14	FAIL_MEZ_A_100	100
X	%I0.15	FAIL_LAM_A_100	FALLO LAMINADORA A 100
X	%I0.16	FAIL_EXT_A_100	FALLO EXTRUSORA A 100
X	%I0.17	FAIL_CORT_A_100	FALLO CORTADORA A100
X	%I0.18	FAIL_PUMP_A_200	FALLO BOMBA A 200
X	%IW2.3	LT_104	SENSOR DE NIVEL LT-104
X	%IW2.4	LT_201	SENSOR DE NIVEL LT-201
X	%IW2.5	WT_101	SENSOR DE PESO WT-101
X	%IW2.6	WT_102	SENSOR DE PESO WT-102
X	%IW2.7	WT_103	SENSOR DE PESO WT-103
X	%IW3.0	FT_200	CAUDALIMETRO FT-01-200
X	%IW3.1	FT_100	CAUDALIMETRO FT-02-100
X	%M0	SEL_LAD_PTAR	BANDA T.-A-100-R
X	%M1	SEL_LAD_PTAP	BANDA T.-B-100-R
X	%M2	END_PROCESS	BANDA T.-C-100-R
X	%M3	REV_BOMBA_AGUA	BANDA T.-D-100-R
X	%Q0.0	BANDA_T_A_100_R	
X	%Q0.1	BANDA_T_B_100_R	
X	%Q0.2	BANDA_T_C_100_R	
X	%Q0.3	BANDA_T_D_100_R	

X	%Q0.4	DOSIFICADOR_A_100_R	DOSIFICADOR-A-100-R
X	%Q0.5	MEZCLADOR_A_100_R	MEZCLADOR-A-100-R
X	%Q0.6	LAMINADOR_A_100_R	LAMINADOR-A-100-R
X	%Q0.7	EXTRUSORA_A_100_R	EXTRUSORA-A-100-R
X	%Q0.8	CORTADOR_A_100_R	CORTADOR-A-100-R
X	%Q0.9	VAL_A_100_R	VAL-A-100-R
X	%Q0.10	VAL_B_100_P	VAL-B-100-P
X	%Q0.11	VAL_C_100_R	VAL-C-100-R
X	%Q0.12	VAL_D_100_R	VAL-D-100-R
X	%Q0.14	MAX_WT_101	MAX-WT-101
X	%Q0.15	MAX_WT_102	MAX-WT-102
X	%Q1.0	MAX_WT_103	MAX-WT-103
X	%Q1.1	MIN_WT_101	MIN-WT-101
X	%Q1.2	MIN_WT_102	MIN-WT-102
X	%Q1.3	MIN_WT_103	MIN-WT-103
X	%Q1.4	BOMBA_A_200_ON	BOMBA-A-200-ON
X	%Q1.6	VAL_C_100_P	VAL-C-100-P
X	%Q1.7	DOSIFICADOR_A_100_P	DOSIFICADOR-A-100-P
X	%Q1.8	BANDA_T_A_100_P	BANDA T.-A-100-P
X	%Q1.9	MEZCLADOR_A_100_P	MEZCLADOR-B-100-P
X	%Q1.10	BANDA_T_B_100_P	BANDA T.-B-100-P
X	%Q1.11	LAMINADOR_A_100_P	LAMINADOR-A-100-P
X	%Q1.12	BANDA_T_C_100_P	BANDA T.-C-100-P
X	%Q1.13	EXTRUSORA_A_100_P	EXTRUSORA-A-100-P
X	%Q1.16	VAL_D_100_P	VAL-D-100-P
X	%Q1.17	MAX_LT_104	MAX-LT-104
X	%Q1.18	MIN_LT_104	MIN-LT-104
X	%Q1.19	MAX_LT_201	MAX-LT-201
X	%Q1.20	MIN_LT_201	MIN-LT-201
X	%Q1.21	LOW_FT_01_200	LOW-FT-01-200
X	%TM0	TEMP_01	TEMPORIZADOR DE ENCENDIDO DE
X	%TM1	TEMP_02	MÁQUINAS TEMPORIZADOR DE ENCENDIDO DE MÁQUINAS

Se realiza el mismo proceso de programación para la selección de mezcla para ladrillos PTAP.

Para realizar la regulación de entrada de agua hacia el mezclador, se hace necesario la utilización de un PLC que se programa según especificaciones que se requieren para las mezclas.

Rung20 - PID

Comentario: CONTROL DE ENTRADA DE AGUA HACIA EL MEZCLADOR



Variables utilizadas:

PID 0

Figura 58. Señal de finalización de proceso.

Fuente: Autor.

Dentro de la programación del PID se deben tener en cuenta las siguientes variables:

- **MEDIDA:** Hace referencia al aparato o instrumento que realiza la medición para el control de equipos. En el caso del sistema diseñado el instrumento que se encarga de la medición es el macromedidor, y según lo que se programe va a permitir la apertura o cierre de la válvula de ingreso de agua hacia el mezclador.
- **CONSIGNA:** La consigna es la regulación o parámetro que se configura en el PID para control del proceso. En el caso del sistema de la ladrillera, la regulación es el caudal de entrada hacia el mezclador.
- **CONTROLADOR:** Equipo donde se almacenan los datos de la programación de los equipos y control de las variables del proceso.

- SALIDA: Es el equipo sobre que se va a hacer el control PID, en nuestro caso es la válvula que permite el ingreso de agua al mezclador.

PID 0

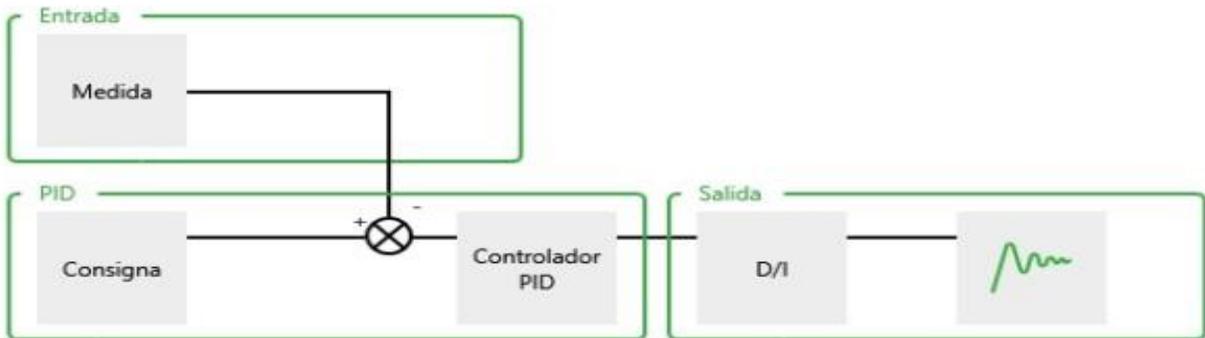


Figura 59. Elementos de control de PID entrada de agua al mezclador.

Fuente: Autor.

Rung23 - ENCENDIDO BOMBA TANQUE DE AGUA

Comentario: ENCENDIDO DE BOMBA PARA LLENADO DE TANQUE DE AGUA



Variables utilizadas:

%I0.0	PE	PARO DE EMERGENCIA
%I0.7	FAIL_VAL_A_200	FALLO DE VALVULA A 200
%I0.18	FAIL_PUMP_A_200	FALLO BOMBA A 200
%Q1.4	BOMBA_A_200_ON	BOMBA-A-200-ON
%Q1.19	MAX_LT_201	MAX-LT-201
%Q1.20	MIN_LT_201	MIN-LT-201

Figura 60. Encendido de bomba de llenado de tanque de agua.

Fuente: Autor.

De esta manera se da por concluido el tercer objetivo específico propuesto y se culmina el desarrollo de la propuesta planteada.

7 Analisis de Resultados

Para el análisis de los resultados se requiere tener conocimiento de los valores de aceptación de muestras expresados por la norma NTC 4205 para tener referencias y puntos de comparación para los ladrillos fabricados. A continuación, se muestran tablas de valores de resistencias de unidades para mampostería y valores de absorción de humedad permitidos:

Tabla 5. Resistencia a la compresión.

Tipo	Resistencia mínima ¹⁾ a la compresión Pa (kgf/cm ²)		Absorción de agua máxima en %			
			Interior *		Exterior	
	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad
PH	5,0 (50)	3,5 (35)	13	16	13,5	14
PV	18,0 (180)	15,0 (150)	13	16	13,5	14
M	20,0 (200)	15,0 (150)	13	16	13,5	14

Fuente: NTC 4205 (mampostería estructural).

PH: unidad de mampostería de perforación horizontal (ladrillo y bloque).

PV: unidad de mampostería de perforación vertical (ladrillo y bloque).

M: unidad de mampostería maciza (ladrillo).

Tabla 6. Resistencia a la compresión.

Tipo	Resistencia mínima ¹⁾ a la compresión Pa (kgf/cm ²)		Absorción de agua máxima en %			
			Interior		Exterior	
	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad	Prom 5 U	Unidad
PH	3,0 (30)	2,0 (20)	17	20	13,5	14
PV	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20	13,5	14
M	14,0 (140)	10,0 (100)	17	20	13,5	14

Fuente: NTC 4205 (mampostería no estructural).

Tabla 7. Porcentajes de absorción.

Tasa inicial de absorción g/cm ² /min	Tiempo recomendado de prehumedecimiento
< 0,10	5 min
< 0,15	1 h
< 0,25	24 h

Fuente: NTC 4205.

Con respecto al análisis de los resultados a continuación se describen las interpretaciones:

- En cuanto a los ensayos de absorción de humedad, todas las muestras se mantienen dentro de los valores permitidos y especificados por la norma NTC-4205 (< 25%).

Tabla 8. Ensayos de absorción.

ENSAYO % DE ABSORCIÓN								
LADRILLO	PRUEBA #1	PRUEBA #2	PRUEBA #3	PRUEBA #4	PRUEBA #5	PRUEBA #6	PROMEDIO	VALOR DE REFERENCIA NTC-4205
PTAP 20%	20,6	17,8	20,2	19,4	-	-	19,5	< 0,25 / < 25%
PTAP 30%	23,4	23,1	26,2	26,4	19,7	24,3	23,85	
PTAR 20%	15,4	14,6	11,1	14	18,1	18,2	15,23	
PTAR 30%	21,9	20,4	22,2	20,9	20,5	22,5	21,40	

Elaboración de autor, mayo de 2023

Se muestran a continuación, los resultados de ensayos de absorción del trabajo “uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos” (León & Oswaldo, 2015).

- Ladrillos A (0% de adición de lodos residuales).
- Ladrillos B (10% de adición de lodos residuales).
- Ladrillos C (20% de adición de lodos residuales).
- Ladrillos D (30% de adición de lodos residuales).



Figura 61. Ensayo de absorción trabajo “uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos”.

Detalle los resultados de ensayos de absorción del trabajo “resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales” (GARCÍA UBAQUE et al., 2013):

ID Muestra	Descripción	Resistencia a la Compresión en MPa	Absorción de Agua en %
M1	Ladrillo Común	3.78	12.46
M2	Ladrillo con 1% de Lodo Residual	3.87	12.83
M3	Ladrillo con 5% de Lodo Residual	4.51	12.97
M4	Ladrillo con 10% de Lodo Residual	4.61	13.24
M5	Ladrillo con 20% de Lodo Residual	3.33	13.57
M6	Ladrillo con 40% de Lodo Residual	2.96	15.05
Observación:			
Se usó lodo residual seco con un 25% de contenido de humedad. Valor mínimo a la compresión según NTC 4205 = >3 Valor máximo de absorción según NTC 4205 = <14			

Figura 62. Ensayo de absorción trabajo “resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales”.

También se encuentran los resultados de ensayos de absorción del trabajo “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo” (Marcela Muñoz Castaño, 2016).

ID Muestra	Absorción de Agua en %
M0L	29.6
M10LH	31.3
M15LH	29.9
M20LH	35.6
M5LS	28.4
M10LS	29.3
M15LS	30.4
Observación:	
El lodo húmedo tiene una humedad de 84.5%. El lodo seco tiene una humedad de 70.5%.	

Figura 63. Ensayo de absorción trabajo “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo”.

Los ensayos de absorción de humedad de los lodos residuales PTAP y PTAR se compararon con los análisis descritos en los proyectos “uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos”(León & Oswaldo, 2015), “resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales” (GARCÍA UBAQUE et al., 2013) y “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo” (Marcela Muñoz Castaño, 2016), que se describen a continuación:

- ***LODO PTAP:***

- a- PTAP 20%: 19.5% (promedio).
- b- PTAP 30%: 23.85% (promedio).

- ***LODO PTAR:***

- PTAR 20%: 15.23% (promedio).
- PTAR 30%: 21.40% (promedio).

- ***LODO PRODUCTO AGUAS RESIDUALES:***

- a- Ladrillos A (0% de adición de lodos residuales): 25.50%.
- b- Ladrillos B (10% de adición de lodos residuales): 24.79%.
- c- Ladrillos C (20% de adición de lodos residuales): 27.31%.
- d- Ladrillos D (30% de adición de lodos residuales): 35.96%.

- ***LODO STARTWATER:***

- a- Ladrillos M0L (0% de adición de lodos residuales): 29.6%.
- b- Ladrillos M1OL (10% de adición de lodos residuales húmedos): 31.3%.
- c- Ladrillos M15LH (15% de adición de lodos residuales húmedos): 29.9%.
- d- Ladrillos M20LH (20% de adición de lodos residuales húmedos): 35.6%.
- e- Ladrillos M5LS (5% de adición de lodos residuales secos): 28.4%.
- f- Ladrillos M10LS (5% de adición de lodos residuales secos): 29.3%.
- g- Ladrillos M15LS (5% de adición de lodos residuales secos): 30.4%.

- ***LODO RESISTENCIA MECÀNICA:***

- a- Ladrillos M1 (0% de adición de lodos residuales): 12.46%.
- b- Ladrillos M2 (1% de adición de lodos residuales): 12.83%.
- c- Ladrillos M3 (5% de adición de lodos residuales): 12.97%.

- d- Ladrillos M4 (10% de adición de lodos residuales): 13.24%.
- e- Ladrillos M5 (20% de adición de lodos residuales): 13.57%.
- f- Ladrillos M6 (40% de adición de lodos residuales): 15.05%.

Se observó que los lodos que dan cumplimiento a los criterios en cuanto al tema de absorción de humedad según la NTC 4205 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2000) son los lodos del trabajo de “resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales” (GARCÍA UBAQUE et al., 2013) y los lodos residuales de las plantas PTAP y PTAP debido a que se encuentran en porcentajes menores al 25% de absorción.

- La resistencia a la compresión muestra los siguientes resultados:

- Las muestras fabricadas con 20% de lodo PTAP arrojan valores de resistencia de 0.5 MPa por debajo del valor de referencia (10 MPa). Es una muestra que no debe descartarse para usar como ladrillo interior para mampostería NO estructural, debido a que los valores de resistencia (10 MPa) y absorción (19.5%) se encuentran cerca a los valores de aceptación (14 MPa de resistencia a compresión y porcentaje de absorción < 20%). Realizando más pruebas o reduciendo un poco el porcentaje de lodo PTAP usado se puede trabajar para fabricar ladrillos de este tipo mencionado anteriormente.

- Las muestras fabricadas con 30% de lodo PTAP y PTAR no muestran resultados favorables o significativos para poder trabajar.

- Las muestras fabricadas con 20% de lodo PTAR son las muestras con mejor comportamiento en cuanto a resistencia a la compresión. Son ladrillos que pueden ser usados para mampostería NO estructural interior sin ningún inconveniente. Para mampostería estructural

interior y exterior siempre y cuando se mejoren las cualidades en porcentaje de absorción de agua exigidas por la norma. Características que pueden mejorarse disminuyendo (de 1% a 5%) la cantidad de lodo PTAR usado para la fabricación.

Tabla 9. Ensayos de resistencia.

ENSAYO RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN										
LADRILLO	PRUEBA #1		PRUEBA #2		PRUEBA #3		PROMEDIO		VALOR DE REFERENCIA	
	CARGA MÁXIMA (KN)	ESFUERZO (MPa)	MAMPOSTERÍA NO ESTRUCTURAL ESFUERZO (MPa)	MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL ESFUERZO (MPa)						
PTAP 20%	10,2	6,6	18,8	12,3			14,5	9,5	10	15
PTAP 30%	9,4	5,8	8,2	5,4	8,2	5,1	8,6	5,4		
PTAR 20%	26,9	18,0	18,4	11,9	29,4	19,5	24,9	16,5		
PTAR 30%	126	8,2	15,7	10,6	9,4	6,3	12,6	8,4		

Elaboración de autor, mayo de 2023

Se muestran a continuación, los resultados de ensayos de absorción del trabajo “uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos” (León & Oswaldo, 2015).

- Ladrillos A (0% de adición de lodos residuales).
- Ladrillos B (10% de adición de lodos residuales).
- Ladrillos C (20% de adición de lodos residuales).
- Ladrillos D (30% de adición de lodos residuales).
- Ladrillos E (100% de adición de lodos residuales).



Figura 64. Ensayo de resistencia de proyecto “uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos”.

Detalle los resultados de ensayos de absorción del trabajo “resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales” (GARCÍA UBAQUE et al., 2013):

ID Muestra	Descripción	Resistencia a la Compresión en MPa	Absorción de Agua en %
M1	Ladrillo Común	3.78	12.46
M2	Ladrillo con 1% de Lodo Residual	3.87	12.83
M3	Ladrillo con 5% de Lodo Residual	4.51	12.97
M4	Ladrillo con 10% de Lodo Residual	4.61	13.24
M5	Ladrillo con 20% de Lodo Residual	3.33	13.57
M6	Ladrillo con 40% de Lodo Residual	2.96	15.05
Observación:			
Se usó lodo residual seco con un 25% de contenido de humedad. Valor mínimo a la compresión según NTC 4205 = >3 Valor máximo de absorción según NTC 4205 = <14			

Figura 65. Ensayo de resistencia de proyecto “resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales”.

Detalle los resultados de ensayos de absorción del trabajo “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo” (Marcela Muñoz Castaño, 2016).

ID Muestra	Resistencia a la Compresión en MPa
M0L	2.29
M10LH	1.85
M15LH	1.60
M20LH	1.07
M5LS	2.82
M10LS	2.06
M15LS	1.42
Observación:	
El lodo húmedo tiene una humedad de 84.5%. El lodo seco tiene una humedad de 70.5%.	

Figura 66. Ensayo de resistencia de proyecto “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo”.

De la misma manera, los ensayos de resistencia a la compresión de los lodos residuales PTAP y PTAR se compararon con los análisis descritos anteriormente en los proyectos “uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos” (León & Oswaldo, 2015), “resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales” (GARCÍA UBAQUE et al., 2013) y “propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo” (Marcela Muñoz Castaño, 2016), que se describen a continuación:

- ***LODO PTAP:***

- a- PTAP 20%: 9.5 MPa (promedio).
- b- PTAP 30%: 5.4 MPa (promedio).

- ***LODO PTAR:***

- a- PTAR 20%: 16.5 MPa (promedio).
- b- PTAR 30%: 8.4 MPa (promedio).

- ***LODO PRODUCTO AGUAS RESIDUALES:***

- a- Ladrillos A (0% de adición de lodos residuales): 13.75 MPa.
- b- Ladrillos B (10% de adición de lodos residuales): 15 MPa.
- c- Ladrillos C (20% de adición de lodos residuales): 8.66 MPa.
- d- Ladrillos D (30% de adición de lodos residuales): 3.75 MPa.
- e- Ladrillos E (100% de adición de lodos residuales): 0 MPa.

- ***LODO STARTWATER:***

- a- Ladrillos M0L (0% de adición de lodos residuales): 2.29 MPa.

- b- Ladrillos M1OL (10% de adición de lodos residuales húmedos):
1.85 MPa.
- c- Ladrillos M15LH (15% de adición de lodos residuales húmedos):
1.60 MPa.
- d- Ladrillos M20LH (20% de adición de lodos residuales húmedos):
1.07 MPa.
- e- Ladrillos M5LS (5% de adición de lodos residuales secos): 2.82
MPa.
- f- Ladrillos M10LS (5% de adición de lodos residuales secos): 2.06
MPa.
- g- Ladrillos M15LS (5% de adición de lodos residuales secos): 1.42
MPa.

- ***LODO RESISTENCIA MECÀNICA:***

- a- Ladrillos M1 (0% de adición de lodos residuales): 3.78 MPa.
- b- Ladrillos M2 (1% de adición de lodos residuales): 3.87 MPa.
- c- Ladrillos M3 (5% de adición de lodos residuales): 4.51 MPa.
- d- Ladrillos M4 (10% de adición de lodos residuales): 4.61 MPa.
- e- Ladrillos M5 (20% de adición de lodos residuales): 3.33 MPa.
- f- Ladrillos M6 (40% de adición de lodos residuales): 2.96 MPa

Analizando los resultados en general, se observò que los ladrillos A (0% de adición de lodos residuales): 13.75 MPa. y los ladrillos B (10% de adición de lodos residuales): 15 MPa proyecto “uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos” cumplen con los requisitos establecidos en la norma NTC 4205 (Instituto Colombiano

de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2000), para usar como ladrillos para mampostería no estructural junto con los ladrillos de lodo residual PTAR de 20% de adición de lodos 16.5 MPa, debido a que superan los valores de resistencia a la compresión mínimos de 10 MPa.

- Para la determinación del módulo de rotura se tienen los siguientes resultados:

Tabla 10. Ensayos de módulo de rotura.

ENSAYO MÓDULO DE ROTURA								
LADRILLO	PRUEBA #1		PRUEBA #2		PRUEBA #3		PROMEDIO	
	CARGA MÁXIMA (KN)	MÓDULO DE ROTURA (MPa)	CARGA MÁXIMA (KN)	MÓDULO DE ROTURA (MPa)	CARGA MÁXIMA (KN)	MÓDULO DE ROTURA (MPa)	CARGA MÁXIMA (KN)	MÓDULO DE ROTURA (MPa)
PTAP 20%	2,16	1,71	1,78	1,44			1,97	1,6
PTAP 30%	2,6	1,73	3,3	2,64	3,1	2,12	3	2,2
PTAR 20%	2,25	1,6	3,07	2,4	7,88	6,34	4,4	3,4
PTAR 30%	4,09	3,26	4,29	3,74	2,6	2,17	3,66	3,1

Elaboración de autor, mayo de 2023

Tabla 11. Mediciones de unidades.

LADRILLO	MEDICIÓN #1			MEDICIÓN #2			MEDICIÓN #3		
	Longitud	Ancho	Espesor	Longitud	Ancho	Espesor	Longitud	Ancho	Espesor
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
PTAP 20%	176	88	57	174,5	87	54	172,5	89	56,5
PTAP 30%	184	88	60,5	177	86	54,5	182	90	58
PTAR 20%	173	85,5	57	173	86,5	52,5	175	88,5	55,5
PTAR 30%	173	87	53	174	85,5	53,5	176	86,5	57

Elaboración de autor, mayo de 2023

MEDICIÓN #4			MEDICIÓN #5			MEDICIÓN #6		
Longitud	Ancho	Espesor	Longitud	Ancho	Espesor	Longitud	Ancho	Espesor
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
177	84	54						
185	88	58,5	178	85	57,5	180,5	91	56
172,5	87,5	55	173,5	86	53,5	172,5	87	54
174	85	52,5	174	87	53	174,5	85,5	53,5

Elaboración de autor, mayo de 2023

- La medición de las unidades fabricadas luego de la cocción, muestran una reducción en la medida de los ladrillos explicada a continuación teniendo en cuenta las medidas iniciales de los moldes de 200 mm de largo x 100 de ancho x 60 mm de espesor:

- Largo desde 15 mm a 27.5 mm en ladrillos PTAP y de 24 mm a 27.5 mm en ladrillos PTAR.

- Ancho desde 9 mm a 16 mm en ladrillos PTAP y de 11.5 mm a 15 mm en ladrillos PTAR.
- Espesor desde 0 mm a 6 mm en ladrillos PTAP y de 3 mm a 7.5 mm en ladrillos PTAR.

8- Conclusiones

- Se logra determinar que los lodos residuales producto del tratamiento de las plantas PTAP y PTAR de Veolia Tunja, cumplen con características fisicoquímicas y de resistencia aceptables para ser usados como insumo para la fabricación de ladrillos y bloques, en porcentajes entre el 15% al 20% en lodo PTAP y del 20% en lodo PTAR.
- Se confirma las propiedades técnicas de los lodos residuales producto del tratamiento de los procesos de la PTAR al 20% de Veolia Tunja como insumo para fabricar ladrillos para mampostería no estructural y mampostería estructural interna según especificaciones técnicas descritas en la NTC 4205 con resistencias a la compresión superiores a 10 MPa y 15 MPa respectivamente.
- Se evidencia presencia de residuos plásticos en las muestras de lodos PTAP que podrían ser un factor que influya en las características técnicas finales de los ladrillos a base de este lodo residual, afectando a las muestras de 20% de lodo residual.
- La inversión actual de 60 millones de pesos que hace la empresa Veolia Tunja en pago para el tratamiento final de los lodos residuales puede reinvertirse en compra de equipos y maquinaria para la implementación del sistema automático de la ladrillera diseñada con un tiempo de retorno de inversión de acuerdo a estudios de factibilidad económica.

9- Recomendaciones

- El proceso de mezclado se debe realizar con la ayuda de un equipo o máquina para facilitar y reducir tiempos en el proceso.
- Para la realización de unas futuras pruebas de mezclas, las muestras se deben tomar en lo posible con tiempos de maduración de un mes o más en caso del lodo residual de la PTAP y en caso del lodo residual de la PTAR la muestra preferiblemente que haya tenido un tiempo de secado.
 - Es necesario realizar depuración de material plástico de los lodos residuales PTAP.
 - Se recomienda realizar pruebas y análisis con otros porcentajes diferentes de lodos.
 - Es importante que se realice un estudio financiero completo, que involucre todos los costos asociados a la posible implementación del sistema diseñado (maquinaria, equipos, instalaciones locativas, transporte de insumos, personal de mantenimiento, etc.).
- Se deja el proyecto abierto para realizar nuevas investigaciones con base en las planteadas en este documento.

10- Anexos

- **Contenido de agua en muestras de suelo, roca y mezclas de suelo agregado:**

PTAP:

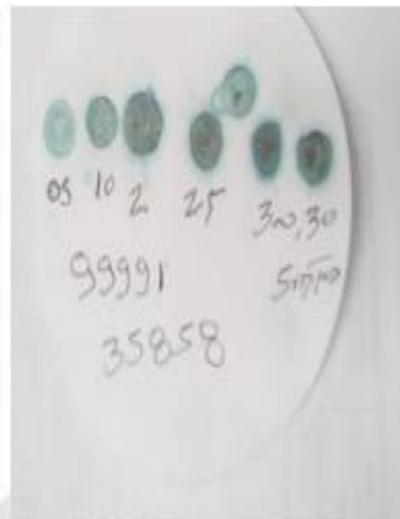
Método de Ensayo	A
Recipiente N°	A 110
Masa del recipiente, (g)	25,4
Masa del recipiente + suelo húmedo, (g)	85,76
Masa del recipiente + suelo seco, (g)	41,14
Contenido de Humedad, %	<u>283,5</u>

PTAR:

Método de Ensayo	A
Recipiente N°	A 114
Masa del recipiente, (g)	25,91
Masa del recipiente + suelo húmedo, (g)	88,91
Masa del recipiente + suelo seco, (g)	50,9
Contenido de Humedad, %	<u>152,1</u>

- Informe de ensayo: ensayo de azul de metileno PTAP:

ÍTEM	VALOR
Referencia ensayo No.	35858
Muestra N°	99991(13)_2
Masa seca que pasa el tamiz #200 (g)	10
Peso azul de metileno solución (g)	10
Volumen agua solución (ml)	1000
Concentración azul de metileno (g/l)	10,0
Volumen de solución colorante adicionada (ml)- Fracción pasa no.200	3
VA - Valor azul de metileno (g/kg) - Fracción pasa 200	3



- Informe de ensayo: ensayo de azul de metileno PTAR:

ÍTEM	VALOR
Referencia ensayo No.	35858
Muestra N°	99992(14)_2
Masa seca que pasa el tamiz #200 (g)	10
Peso azul de metileno solución (g)	10
Volumen agua solución (ml)	1000
Concentración azul de metileno (g/l)	10,0
Volumen de solución colorante adicionada (ml)- Fracción pasa no.200	7,5
VA - Valor azul de metileno (g/kg) - Fracción pasa 200	7,5



- Orden de servicio análisis de laboratorio:

CATEGORÍA	DETALLE	VALOR UNITARIO	CANT.	VALOR TOTAL
Ensayo	Humedad Natural - HN	\$8,347.90	2	\$16,695.80
Ensayo	Gravedad Específica en Suelos	\$32,945.38	2	\$65,890.76
Ensayo	Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos - L	\$35,615.97	2	\$71,231.93
Ensayo	Límite de contracción - LC	\$36,729.41	2	\$73,458.82
Ensayo	Granulometría por tamizado mecánico con lavado - G	\$71,231.93	2	\$142,463.87
Ensayo	Determinación de los tamaños de las partículas (Granulometría por tamizado con lavado e hidrómetro) - GH	\$129,743.70	2	\$259,487.39
Ensayo	Ensayo de Azul de Metileno (Fracción Pasa No. 4 y Fracción Pasa No.	\$127,994.96	2	\$255,989.92

CATEGORÍA	DETALLE	VALOR UNITARIO	CANT.	VALOR TOTAL
Ensayo	Humedad Natural - HN	\$8,347.90	2	\$16,695.80
Ensayo	Gravedad Específica en Suelos	\$32,945.38	2	\$65,890.76
Ensayo	Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos - L	\$35,615.97	2	\$71,231.93
Ensayo	Límite de contracción - LC	\$36,729.41	2	\$73,458.82
Ensayo	Granulometría por tamizado mecánico con lavado - G	\$71,231.93	2	\$142,463.87
Ensayo	Determinación de los tamaños de las partículas (Granulometría por tamizado con lavado e hidrómetro) - GH	\$129,743.70	2	\$259,487.39
Ensayo	Ensayo de Azul de Metileno (Fracción Pasa No. 4 y Fracción Pasa No. 200) - AZM	\$127,994.96	2	\$255,989.92
Ensayo	Equivalente de arena - EA	\$100,615.13	2	\$201,230.25
Servicios varios	Servicios Varios (Transporte)	\$31,800.00	1	\$31,800.00

Las muestras de ensayos no destructivos permanecerán bajo custodia del

laboratorio hasta 30 días después de realizados los ensayos sobre la misma.

Después de este tiempo se dispondrán de acuerdo a los procedimientos internos.

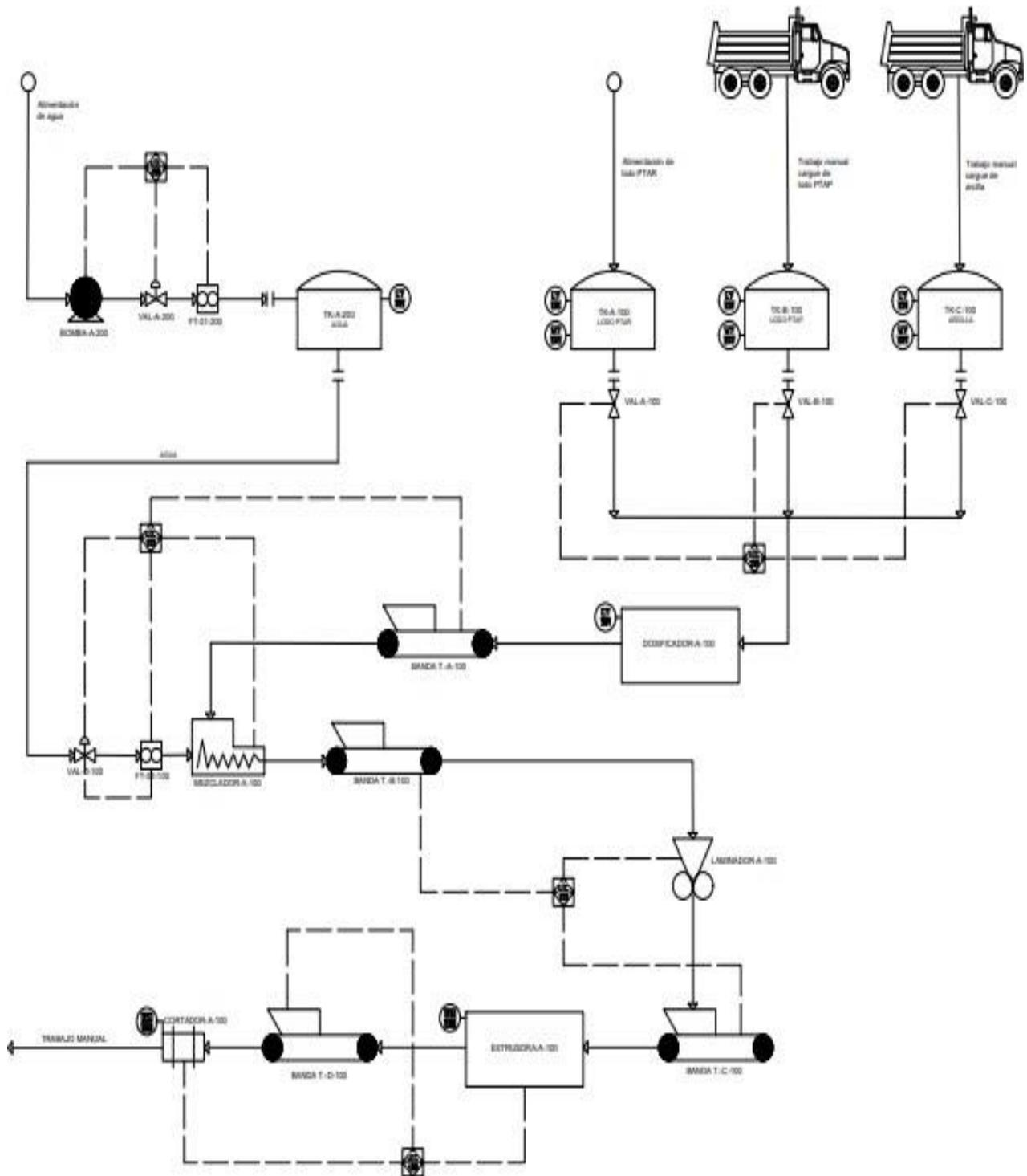
Las muestras de ensayos destructivos se dispondrán de acuerdo a los procedimientos internos una vez sea finalizado el ensayo.

PARCIAL: \$1,118,248.74

IVA: \$212,467.26

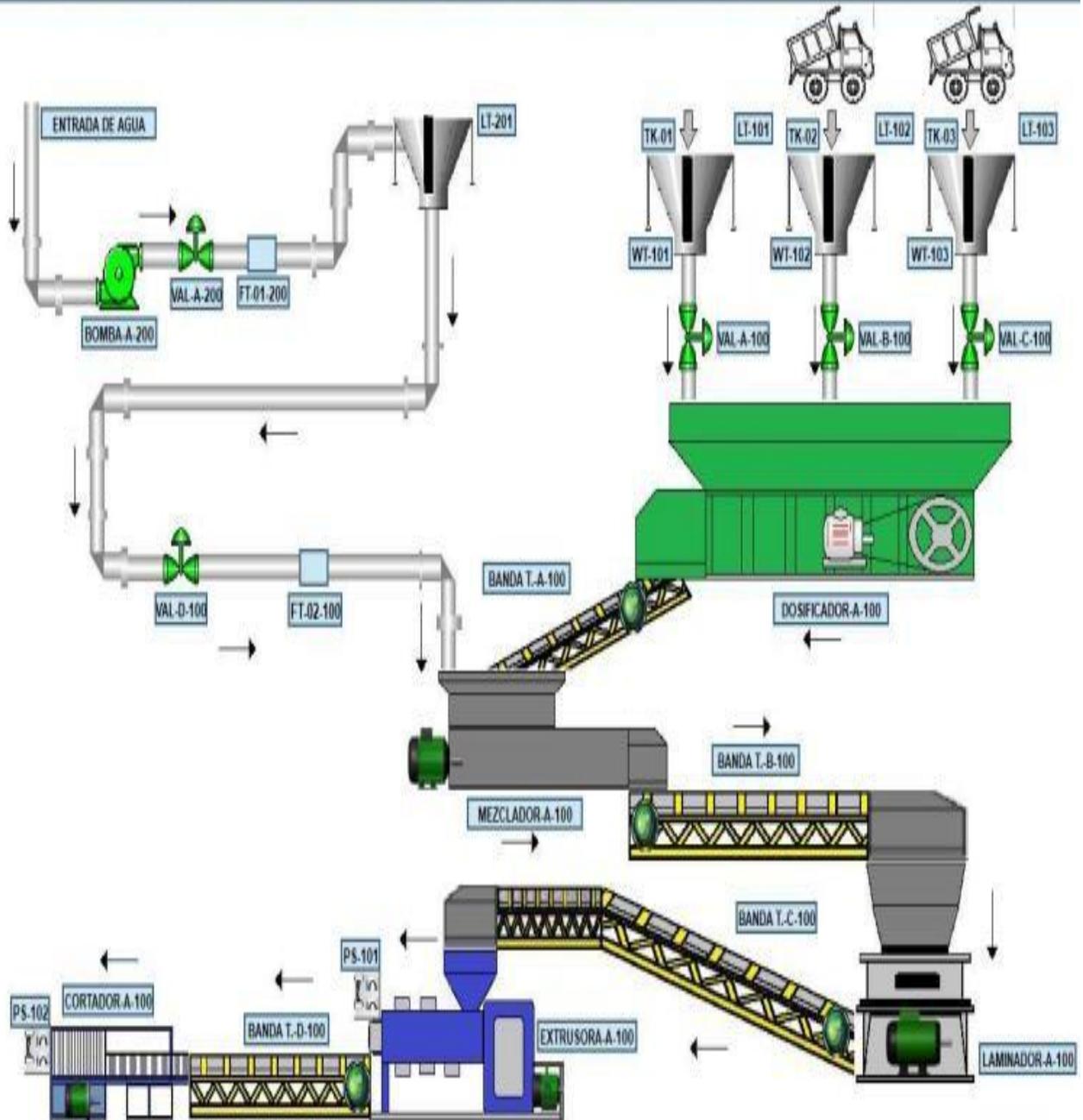
TOTAL: \$1,330,716.00

• P&ID ladrillera PTAP-PTAR Veolia Tunja:



- SCADA ladrillera PTAP-PTAR Veolia Tunja:

SCADA PROYECTO LADRILLERA PTAR-PTAP



11- Referencias Bibliográficas

- Alfa Laval. (2015). *Principio de operación Decanter Centrífugo*.
[https://www.alfalaval.es/info/spain/servicio/principio-de-operacion-decanter-centrifugo/#:~:text=Un%20decanter%20\(cuya%20denominaci%C3%B3n%20en,fas es%20l%C3%ADquidas%20y%20s%C3%B3lidas%20separadas.\)](https://www.alfalaval.es/info/spain/servicio/principio-de-operacion-decanter-centrifugo/#:~:text=Un%20decanter%20(cuya%20denominaci%C3%B3n%20en,fas es%20l%C3%ADquidas%20y%20s%C3%B3lidas%20separadas.))
- Autycom. (2023, April 17). *¿Para qué sirve un PLC?* <https://www.autycom.com/para-que-sirve-un-plc/#:~:text=Un%20Controlador%20L%C3%B3gico%20Programable%2C%20m%C3%A1s,f%C3%A1brica%20o%20de%20situaciones%20mec%C3%A1nicas.>
- Carlos Jesús Martínez Andrés. (2019). *Potabilización del agua*.
<https://books.google.com.co/books?id=XfIDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Centro de formación técnica para la industria. (2023a). *¿Qué es un sensor industrial?*
<https://www.cursosaula21.com/que-son-los-sensores-de-automatizacion-industrial/#:~:text=En%20t%C3%A9rminos%20simples%2C%20los%20sensores,un%20operador%20o%20un%20instrumento>
- Centro de formación técnica para la industria. (2023b). *¿Qué es un sistema SCADA, para qué sirve y cómo funciona?* <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-scada/>
- Distritec SA. (2021). *¿Qué es una electroválvula y para qué sirve?*
<https://www.distritec.com.ar/que-es-una-electrovalvula-y-para-que-sirve/>
- Ecured. (2023). *Laminadora*. <https://www.ecured.cu/Laminadora>
- Elizabeth Tilley, Lukas Ulrich, Christoph Lüthi, Philippe Reymond, Roland Schertenleib, & Christian Zurbrügg. (2018). *Disposición final en superficie*. <https://sswm.info/es/gass->

perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/uso-yo-disposicion-final/disposici%C3%B3n-final-en-superficie#:~:text=Los%20lodos%20se%20pueden%20colocar,dise%C3%B1o%20para%20prevenir%20riesgos%20ambientales

GARCÍA UBAQUE, C. A., GARCÍA VACA, M. C., & VACA BOHÓRQUEZ, M. L. (2013).

Resistencia mecánica de ladrillos preparados con mezclas de arcilla y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257028384006>

Ingeinpro. (2021). *Mezclador*.

<https://ingepro.com/productos/maquinaria/mezclador/#:~:text=M%C3%A1quina%20cuya%20funci%C3%B3n%20principal%20es,gran%20homogeneizaci%C3%B3n%20de%20la%20masa>.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2000). *NORMA*

TÉCNICA NTC COLOMBIANA 4205 INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA.

UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE ARCILLA COCIDA. LADRILLOS Y BLOQUES

CERÁMICOS. [http://www.cytarcillasyprefabricados.com/wp-](http://www.cytarcillasyprefabricados.com/wp-content/uploads/2017/02/NTC-4205-Unidades-de-mamposteria-de-arcilla-ladrillos-y-bloques-ceramicos.pdf)

[content/uploads/2017/02/NTC-4205-Unidades-de-mamposteria-de-arcilla-ladrillos-y-bloques-ceramicos.pdf](http://www.cytarcillasyprefabricados.com/wp-content/uploads/2017/02/NTC-4205-Unidades-de-mamposteria-de-arcilla-ladrillos-y-bloques-ceramicos.pdf)

ISO (Organización Internacional de Normalización). (2011). *ISO 50001:2011-Sistemas de gestión de la energía-Requisitos con orientación para su uso*.

<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:50001:ed-1:v1:es>.

ISO (Organización Internacional de Normalización). (2015). *ISO 14001:2015-Sistemas de gestión ambiental-Requisitos con orientación para su uso.*

<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es>.

Jorge Alejandro Sánchez Niño, & Javier Mateo Vargas Guerrero. (2020). *Diseño de la automatización del proceso de producción de materiales de construcción a base de arcilla para la Ladrillera El Rubí S.A.S. Tunja.* <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/31938>

Juan Pablo Vásquez, & Gabriela Vargas. (2018). *Aprovechamiento de lodos planta de tratamiento de aguas residuales municipio de Funza, como insumo de cultivo y mejoramiento del suelo* [Universidad Católica de Colombia].

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/0b4e8d61-3b56-4245-b62b-160151992fad/content>

Laura Elizabeth Camargo, & Beatriz Daniela Yambay Santamaría. (2020). *Elaboración de ladrillos artesanales mediante el aprovechamiento de lodos resultantes del proceso de depuración en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Quitumbe* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/20679/1/T-UCE-0011-ICF-231.pdf>

León, O., & Oswaldo, X. (2015). *Uso de los lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, para la fabricación de ladrillos.*

<http://201.159.223.180/bitstream/3317/4344/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-128.pdf>

Luis Felipe Granada Aguirre, Narlly Álvarez Castro, & María Isabel Afanador Rodríguez. (2019). *Lineamientos para la implementación de una filosofía de gestión ambiental.* Ediciones de la U.

<https://books.google.com.co/books?id=jSejDwAAQBAJ&pg=PA69&dq=funcion>

amiento+de+una+ptar&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjAxarRpeX5AhUMRT
 ABHeZmBkkQuwV6BAgJEak#v=onepage%20&que=funcionamiento%20de%20una
 %20%20ptar%20&f=false

Marcela Muñoz Castaño. (2016). *Propuesta para el aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas startwater como materia prima en la fabricación de ladrillo*. [Fundación Universitaria de América].

<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/613/1/6101390-2016-2-IQ.pdf>

Natalia Fuentes Molina, Samir Alfonso Isenia León, & José Gregorio Ascencio Mendoza.

(2017). *Biosólidos de tratamiento de aguas residuales domésticas, como adiciones en la elaboración de ladrillos cerámicos*. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6307150.pdf>

Nelson Sejas Galindo. (2023). *Tolva dosificador de arcilla mediana*.

https://www.bibliocad.com/es/biblioteca/tolva-dosificador-de-arcilla-mediana_132344/#:~:text=Su%20principal%20aplicaci%C3%B3n%20es%20transportar,pr%20ducci%C3%B3n%20de%20ladrillos%20y%20azulejos.

Oasys outsourcing automation systems. (2023). *¿Qué es la automatización industrial?*

<https://oasys-sw.com/que-es-automatizacion-industrial-beneficios/#:~:text=La%20automatizaci%C3%B3n%20industrial%20es%20la,la%20necesidad%20de%20intervenci%C3%B3n%20humana>.

Schneider Electric. (2023). *PLC Schneider Electric m221*. [https://download.schneider-](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Catalog+Modicon+M221+Programmable+logic+controller_+February+2023.pdf&p_Doc_Ref=DIA3ED2140106EN)

[electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Catalog+Modicon+M221+Progra](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Catalog+Modicon+M221+Programmable+logic+controller_+February+2023.pdf&p_Doc_Ref=DIA3ED2140106EN)
[mmable+logic+controller_+February+2023.pdf&p_Doc_Ref=DIA3ED2140106EN](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Catalog+Modicon+M221+Programmable+logic+controller_+February+2023.pdf&p_Doc_Ref=DIA3ED2140106EN)

usta.edu.co. (2016). *MACROMEDIDORES*.

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/37786/2021jeimmyhiguera7.pdf?sequ>

