

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE APERTURA Y CIERRE PARA LA VÁLVULA
DE 6" PARA CONTROL DEL NIVEL DEL TANQUE DE
ALMACENAMIENTO EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA POTABLE
DEL BARRIO ROBERTULIO LORA DE LAS EMPRESAS MUNICIPALES DE
CARTAGO S.A E.S.P.**

JUAN PABLO APONTE GALLO

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA, RISARALDA
2021**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE APERTURA Y CIERRE PARA LA VÁLVULA
DE 6" PARA CONTROL DEL NIVEL DEL TANQUE DE
ALMACENAMIENTO EN LA ESTACIÓN DE BOMBEO DE AGUA POTABLE
DEL BARRIO ROBERTULIO LORA DE LAS EMPRESAS MUNICIPALES DE
CARTAGO S.A E.S.P.**

JUAN PABLO APONTE GALLO

**Práctica conducente a trabajo de grado
para optar al título de Ingeniero Mecánico**

Director

MAURICIO MONROY JARAMILLO M.Sc.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PEREIRA, RISARALDA**

2021

Nota de aceptación:

Firma Del Jurado

Pereira, XXXXX de 202X

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	5
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
2.1 OBJETIVOS	8
2.1.1 Objetivo general	8
2.1.2 Objetivos específicos	8
3. MARCO CONCEPTUAL	8
3.1 Automatización.	8
3.2 Actuadores y sensores.	8
3.2.1 Tipo de Actuadores.	9
3.2.2 Sensores, medidores de posición angular.	11
3.2.3 Servomotores.	15
3.2.4 Controlador Lógico Programable (PLC).	16
3.2.5 Señal de corriente 4-20 mA	17
3.3 Normatividad	18
3.4 Estrategias de Control	19
3.5 Protocolos de Comunicación.	21
3.6 Acometidas y Protecciones.	22
4. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE DISTRIBUCIÓN Y SU AUTOMATIZACIÓN PARCIAL.	25
5. ESTUDIO DE COSTOS INCURRIDOS EN LA MANIPULACIÓN DE LA VÁLVULA.	27
6. PROPUESTA(S) DE EQUIPOS PARA LLEVAR A CABO LA APERTURA Y CIERRE DE LA VÁLVULA SIN NECESIDAD DE INTERVENCIÓN MANUAL DE LOS OPERARIOS.	28
7. RESULTADOS	34
7.1 Resultados de la propuesta de equipos.	34
7.2 Levantamiento de planos.	35

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	38
8.1 Conclusiones	38
8.2 Recomendaciones	38
9. BIBLIOGRAFÍA.	40
10. ANEXOS.	43

1. INTRODUCCION

EMPRESAS MUNICIPALES DE CARTAGO S.A E.S.P es una empresa comercial, de nacionalidad Colombiana, clasificada como empresa de servicios públicos domiciliarios de carácter oficial, con autonomía administrativa, patrimonial y presupuestal, sometida al régimen aplicable a las empresas de servicios públicos, se rige por lo dispuesto en la Ley 142 de 1994 y la Ley 689 de 2001 disposiciones afines y reglamentarias vigentes, o por las normas legales que las modifiquen, complementen, adicionen o sustituyan; por las normas del Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio Vivienda y Desarrollo Territorial, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico y la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [1].

El sistema de bombeo de agua potable del barrio Robertulio Lora consta de dos (2) equipos de bombeo con motores de 18,6kW [25 HP] a un régimen de giro nominal de 3500 min⁻¹, alimentados a 440V, que accionan bombas de marca Flowserve referencia 2 ½ LR13 con un caudal nominal de 12 $\frac{L}{s}$, un (1) medidor de presión hidrostática, un (1) PLC integrado en el variador de frecuencia Yaskawa y un (1) medidor de nivel ultrasónico para cuantificar el nivel de agua potable del tanque de almacenamiento. El control y la activación del sistema de bombas se realiza a través de variadores de frecuencia en cada una de ellas, estos permiten regular los caudales de bombeo, además de disminuir el consumo de energía.

Este sistema de bombeo garantiza el abastecimiento de aproximadamente 912 usuarios. Actualmente este cuenta con una automatización parcial, la cual fue implementada en el año 2020; Esta automatización se encargó de la medición del nivel del tanque tanto de suministro como de almacenamiento del barrio Robertulio Lora, con el objetivo principal de reducir las paradas del sistema de abastecimiento, garantizando el continuo funcionamiento y la reducción de las interrupciones. Sin embargo, para lograr una automatización completa de este sistema de bombeo se requiere diseñar e implementar un sistema de control para la apertura y cierre de la válvula encargada del llenado del tanque de almacenamiento en horas picos donde más disminuye el nivel de este. Actualmente para la apertura y cierre de esta se requiere de la presencia de un operario, el cual se encuentra atento a través de la aplicación Varstracking, conociendo de manera inmediata el comportamiento del sistema.

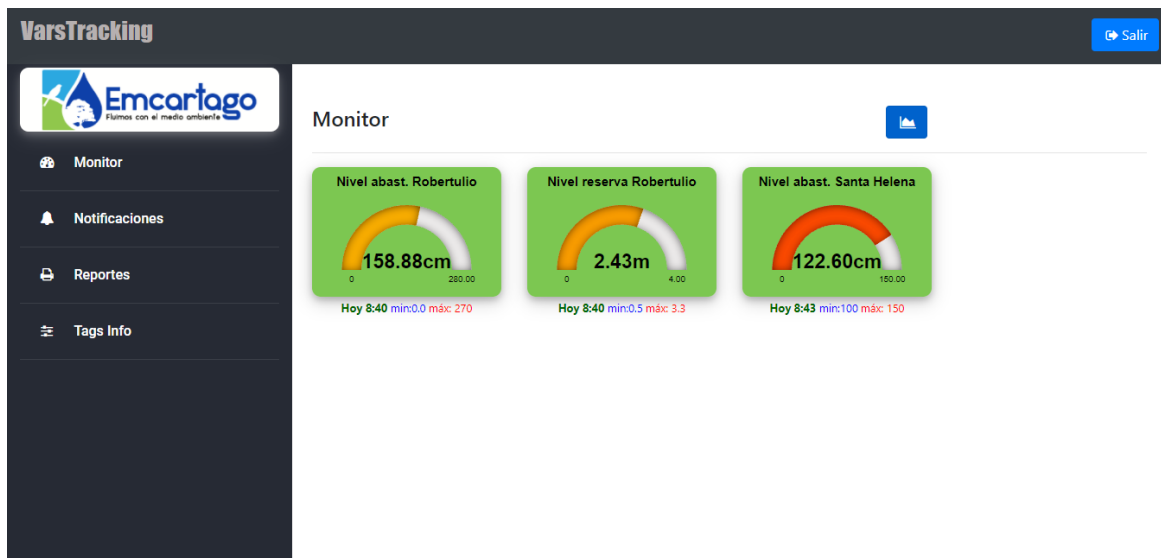


Figura 1. Monitor Varstracking niveles de los tanques.



Figura 2. Monitor Varstracking comportamiento del nivel de los tanques por horas.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Se puede realizar un diseño de automatización parcial para la apertura y cierre de la válvula de alimentación del tanque de almacenamiento de la estación de bombeo Robertulio?

La implementación de un sistema de control para la apertura y cierre de esta válvula es de suma importancia para la empresa no solo por la implementación de TIC en las operaciones realizadas por esta, sino que representa un beneficio económico de gran cuantía, pues actualmente se está utilizando una válvula de compuerta como una válvula reguladora de caudal de acuerdo a la necesidad del sistema, el uso inadecuado de esta válvula conlleva a que su vida útil se acorte o sufra daños significativos siendo necesaria la parada del sistema completo para realizar el mantenimiento o cambio de esta de ser necesario, ya que esta al estar en una posición intermedia se genera una palanca en el vástago que puede llegar a deformarlo, dejando la válvula inoperativa, lo que conlleva a que la empresa deba invertir con mayor frecuencia en el mantenimiento, repuestos y de ser necesario reemplazo de esta [2] ; A su vez la cantidad de horas extras que la empresa debe remunerar al operario a cargo de esta estación de bombeo, pues este debe estar atento 24/7 de los niveles del tanque de suministro y así realizar la apertura parcial de la válvula; A todo lo anterior se suma que dado el caso que el operario a cargo de la estación no cuenta con la experiencia adecuada puede ocasionar reboses en el tanque, reboses que significan pérdida de agua ya tratada lista para su distribución y consumo. Por lo mencionado y contando con el espacio en la estación se considera pertinente el sistema de control mencionado para la válvula.

2.1 OBJETIVOS

A continuación, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos de este trabajo.

2.1.1 Objetivo general

Realizar el diseño de un sistema de apertura y cierre para la válvula de 6" utilizada para controlar el nivel del tanque de almacenamiento en la estación de bombeo de agua potable del barrio Robertulio Lora de las Empresas Municipales de Cartago S.A E.S. P con el fin de disminuir costos operativos y pérdidas de agua potable durante el rebose del mismo.

2.1.2 Objetivos específicos

1. Identificar el sistema de bombeo de distribución del barrio Robertulio Lora y desarrollar las actividades propuestas en la práctica.
2. Realizar un estudio de costos para determinar el costo operativo y del agua potable desperdiciada en los errores de manipulación de la válvula de 6".
3. Establecer una propuesta de equipos para llevar a cabo la automatización de la válvula de 6" en el tanque de almacenamiento de la estación de bombeo de Robertulio.
4. Elaborar los planos del sistema propuesto y listado de componentes.

3. MARCO CONCEPTUAL

A continuación, se presentan conceptos básicos sobre automatización, en especial sobre los elementos utilizados para la realización de este trabajo, haciendo un recuento conceptual, fundamental para el desarrollo de este trabajo.

3.1 Automatización.

La automatización es el conjunto de elementos o procesos informáticos, mecánicos y electromecánicos que operan con una mínima o nula intervención del ser humano, tratando de evitar al máximo operarios de máquinas y/o herramientas; El fin de la automatización es optimizar y mejorar el funcionamiento de una planta industrial o cualquier otro sistema que así lo permita. En la automatización se suelen utilizar sistemas electromecánicos, sensores, transmisores de campo, sistemas de control y software para realizar el debido monitoreo, control y supervisión del proceso.[6]

3.2 Actuadores y sensores.

Un actuador es un dispositivo mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o "actuar" otro dispositivo, en este caso una válvula; Por medio de este es posible la operación de la válvula local o remotamente. El actuador se encuentra diseñado para utilizar energía, la cual proviene de cinco fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, fuerza motriz eléctrica, de operación manual o una combinación de las anteriores. Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina este

“neumático”, “hidráulico”, “eléctrico” o “manual”. Es de mencionar que el movimiento de estos siempre se encuentra restringido por unos límites establecidos, por motor o empuje.[3]

Los sensores son fundamentales en la automatización, pues son dispositivos que están capacitados para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia, en términos simples, los sensores son dispositivos de entrada que proporcionan una señal de salida en función de una entrada específica, pudiendo ser esta cualquier cantidad física (temperatura, presión, flujo, tensión, corriente, frecuencia rotacional, posición, dirección de desplazamiento, humedad, vibración, entre otras). Dicha señal de salida puede ser leída por un operador o un instrumento; Por lo anterior los sensores son fundamentales para las aplicaciones industriales que se utilizan para el control de procesos.[22]

3.2.1 Tipo de Actuadores.

- **Actuadores Neumáticos:** Son aquellos actuadores que utilizan como fuente de alimentación un suministro de aire o gas, por medio de un dispositivo mecánico, el movimiento del cilindro se puede transformar en un movimiento rotatorio; La torsión que genera el actuador es directamente proporcional a la presión del aire comprimido. Para mover el actuador en el sentido contrario es necesario introducir aire o gas comprimido en el lado opuesto del émbolo.[7]

Dentro de este tipo de actuadores se pueden encontrar actuadores neumáticos lineales, de giro y especializados.



Figura 3. Actuador multivuelta de válvula neumática EIM 2000LP. Tomado de Emerson Electric Co.

- **Actuadores Hidráulicos:** Estos funcionan con fluidos, generalmente aceite hidráulico; Estos se emplean cuando se requiere potencia, sin embargo, requieren demasiado equipo para el suministro de energía, y a su vez requieren de mantenimiento periódico.[8]

Dentro de este tipo de actuadores podemos encontrar actuadores lineales o cilindros y actuadores rotativos o motores hidráulicos. Es de mencionar que dichos actuadores y circuitos hidráulicos en general suelen tener algunas pequeñas fugas de líquido hidráulico en algunas partes del circuito como racores, uniones, válvulas.



Figura 4. Actuador hidráulico helicoidal de cuarto de vuelta serie BHHF Bettis. Tomado de Emerson Electric Co.

- **Actuadores Eléctricos:** Este tipo de actuadores llevan incorporado un motor eléctrico y un reductor, este conjunto también es llamado “motorreductor” y permite accionar cualquier dispositivo para llevar a cabo un determinado movimiento u acción. Por lo general se utilizan para accionar compuertas, válvulas y otros elementos que conectan un proceso con otro o un estado de un proceso con otro. Usualmente el actuador eléctrico es el que almacena los datos de válvulas y carrera, posteriormente dicha información es procesada por la parte de control que es la encargada de conectar y desconectar según las necesidades. Sus características son variadas y se adaptan a la gran mayoría de necesidades.[10]



Figura 5. Actuador eléctrico de válvulas M2CP de Bettis. Tomado de Emerson Electric Co.

Dentro de este tipo de actuadores encontramos de cuarto de vuelta y multivuelta; Los primeros se utilizan en válvulas que requieren giros de 90° de su vástago para

la apertura o cierre total de la válvula y se clasifican según su montaje, fuerza y par máximo, los segundos se utilizan en válvulas que requieren giros de 360° para su apertura o cierre total, se clasifican según el montaje, fuerza, par máximo, velocidad máxima y dimensiones.

3.2.2 Sensores, medidores de posición angular.

- **Codificador Incremental:** El codificador es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales, los impulsos generados pueden ser utilizados para cuantificar los desplazamientos de tipo angular. Las señales eléctricas de posición angular pueden ser leídas mediante controles numéricos (CNC), contadores lógicos programables (PLC), sistemas de control, entre otros.

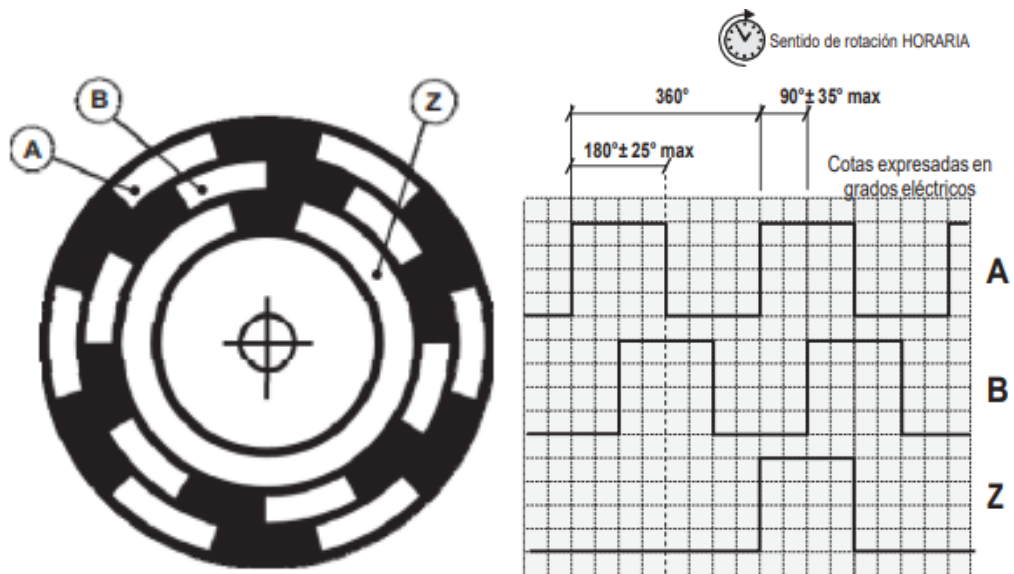


Figura 6. Representación de las señales en un codificador incremental. Adaptado de Sensores e instrumentación Guemisa S.L.

El codificador incremental proporciona normalmente dos formas de ondas cuadradas y desfasadas entre sí en 90° eléctricos, los cuales por lo general son "canal A" y "canal B". Con la lectura de un solo canal se dispone de la información correspondiente a la velocidad de rotación, mientras que si se capta también la señal "B" es posible discriminar el sentido de rotación con base en la secuencia de datos que producen ambas señales. Está disponible además otra señal llamado canal Z o Cero, que proporciona la posición absoluta de paso por cero del eje del codificador [11].



Figura 7. Codificador incremental B58N. Tomado de Dynapar Encoders.

- **Interruptor de final de carrera:** Son sensores electromecánicos que también son llamados interruptores de posición, es un sensor que detecta la posición de un elemento móvil a través de un accionamiento mecánico.[12]



Figura 8. Interruptor final de carrera tipo “palanca con roldana”. Tomado de Electro MAZ Ltda.

Estos al ser sensores de contacto, necesitan estar en contacto con el objeto para detectar la llegada de un elemento móvil a una determinada posición. La señal de salida de estos interruptores es binaria y la única información que brinda, es si el objeto está en una posición determinada o no.

- **Detector de proximidad:** Son módulos que se utilizan para detectar la presencia de objetos cercanos sin necesidad de contacto físico. Se utilizan en variadas aplicaciones, como en sistemas de transporte, pantallas táctiles, sensores de parqueo, sistemas de alerta y dispositivos móviles.

Estos detectores de proximidad utilizan una serie de métodos de detección físicos que incluyen el acoplamiento capacitivo, inductivo, infrarrojo, entre otros.[13]

- **Óptico:** Los detectores de proximidad ópticos o infrarrojos son una combinación de un LED emisor, lente direccional, lente receptor y una matriz foto detectora. El rango de detección se detecta a través del ángulo del haz incidente sin tener en cuenta la intensidad de la luz reflejada, por lo general, tienen una configuración de rango ajustable.



Figura 9. Sensor Infrarrojo de proximidad E18-D80NK. Tomado de Naylamp Mechatronics.

- **Inductivo:** Los sensores inductivos son sensibles a cambios en la resistencia magnética, también llamada “reluctancia”. Este genera un campo magnético que cuando la bobina detecta un objeto metálico se genera una corriente la cual dependiendo de la proximidad del objeto varía la amplitud de la onda senoidal del campo magnético, entre más cerca, menor es su amplitud, cuando la onda disminuye hasta cierto punto el sensor conmuta su estado lo que indica que se detecta un objeto metálico [14].



Figura 10. Sensor inductivo de proximidad LJ12A3-4-Z/BY. Tomado de Naylamp Mechatronics.

- **Capacitivo:** Los sensores capacitivos operan de manera similar que los sensores inductivos, con la diferencia de que estos permiten la detección tanto de materiales conductivos como no-conductivos, pues se usan principalmente para detectar materiales como plásticos, líquidos, materiales granulados, entre otros [15].



Figura 11. Sensor capacitivo de proximidad LJC30A3-H-Z/BX. Tomado de Naylamp Mechatronics.

- **Potenciómetro:** Es un dispositivo que permite medir desplazamientos o giros dependiendo de su configuración, puede medir ángulos o medir desplazamientos lineales. Los potenciómetros se utilizan también para introducir rápidamente valores en un sistema digital, un ejemplo de esto serían los controles de sonido, variadores de intensidad de luz, entre otros.[16]

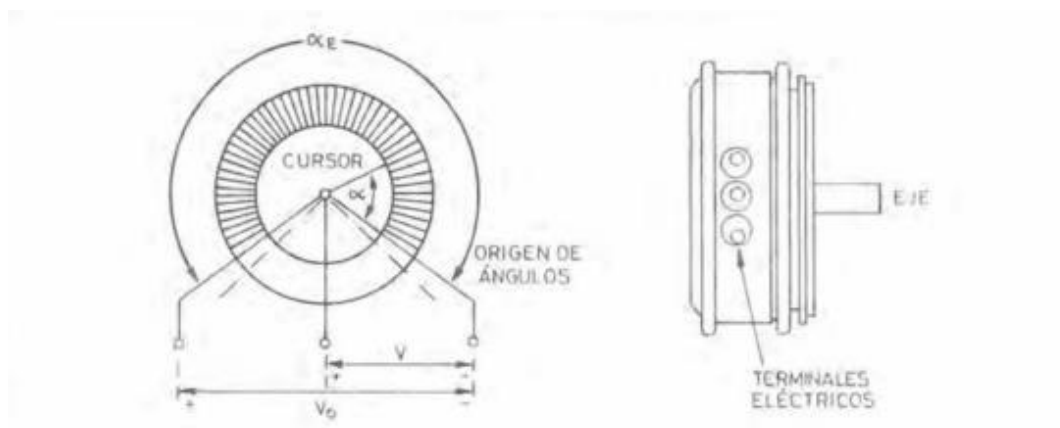


Figura 12. Esquema de Potenciómetro. Tomado de Giovenzana International B.V.

- **Transformador Diferencial de Rotación Variable (RVDT):** Estos sensores de ángulo inductivos son transductores de tipo inductivo que miden la posición angular sin rozamiento, por lo anterior los RVDT son elementos que al operar sin rozamiento no tienen desgaste, siendo de esta manera los más indicados en aplicaciones donde la frecuencia de operación es alta y se debe garantizar un correcto funcionamiento.[17]



Figura 13. RVDT. Tomado de Althen sensors.

- Synchros y Resolvers:** Un *synchro* es un transductor de posición angular de tipo electromagnético, cuyo principio de funcionamiento es de un transformador con uno de sus devanados rotativo. Los más comunes tienen configuración que disponen de un primario monofásico alojado en el rotor y un secundario trifásico alojado en el estator. Un *resolver* a su vez es un *synchro*, pero este cuenta con una configuración diferente de primario y secundario, por lo general se sitúa el primario en el estator y es bifásico, y el secundario se sitúa en el rotor y puede ser monofásico o bifásico. Es de mencionar que en algunos servos de posición se utilizan pares de *synchros* en una configuración denominada transmisor-receptor o “maestro-esclavo” que permite generar una señal proporcional a la diferencia de ángulos de los dos *synchros* interconectados.[18]

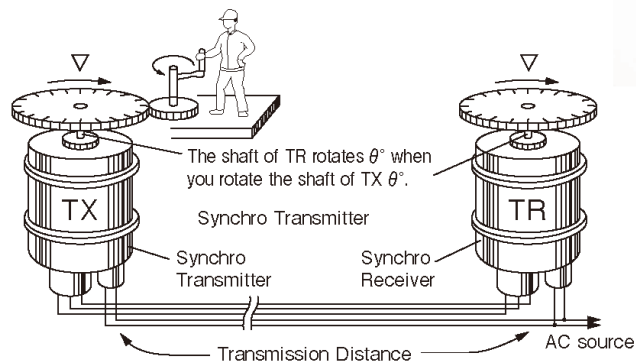


Figura 14. Funcionamiento de *synchros*. Tomado de Tamagawa Seiki CO LTD.

3.2.3 Servomotores.

Son dispositivos electromecánicos constituidos principalmente por tres elementos: amplificador electrónico, motor eléctrico y sensor de posición. El sensor de posición se encarga de medir el desplazamiento sea este lineal o rotacional, el amplificador electrónico, también llamado servo amplificador se encarga de acondicionar al motor la impedancia y la señal de voltaje de baja potencia proveniente de una computadora o un sistema mínimo digital. Estos dispositivos cuentan básicamente con tres modos de operación: posición, velocidad y par; El modo posición puede mover el motor a un punto

o posición preestablecida llamado “*setpoint*”, aun así este modo no permite desplazar cargas o aplicar una fuerza determinada, dando lo anterior lugar a un uso frecuente de reguladores como el proporcional derivativo (PD) o el integral proporcional derivativo (PID); En el modo velocidad se controla el movimiento del motor a una velocidad deseada, pero al igual que en el modo posición, no se puede ejercer fuerza, siendo llamados estos modos de operación, modos de arquitectura cerrada, debido a que no pueden programar otro tipo de controladores.[5]



Figura 15. Servomotor EMMT-AS. Tomado de FESTO INC.

3.2.4 Controlador Lógico Programable (PLC).

Un PLC es básicamente una computadora industrial que se utiliza en la ingeniería para la automatización de procesos y con la finalidad, que las máquinas desarrollen efectivamente todos los sistemas que la componen. Está conformado por entradas y salidas digitales, fuentes de poder, carcasa, interfaz de programación y módulos de programación, salidas de transistores y salidas con relés. Estos equipos a su vez cuentan con características como comunicación remota con otros controladores y computadoras en redes de área local, controlan las entradas y salidas de manera segura, poseen una programación compatible con distintos lenguajes, interfaz amigable que facilita la comunicación con el usuario, conexión a sistemas de supervisión, ejecutan la programación de forma continuada y sus memorias normalmente están divididas en dos partes.[19]

La operatividad de estos equipos del PLC está basada en procesos periódicos y de sucesión. Los procesos por los que pasa son: Autodiagnóstico, en este paso se realiza la revisión de todos los circuitos. En caso de presentarse un inconveniente, el dispositivo indica una señal; Lectura de entrada y grabación, en este paso se evalúa diagnosticando de esta manera su estado, encendida o apagada y guarda estos procesos en la memoria; Lectura y realización del programa, en este se utilizan los procesos guardados en la memoria y el ordenador realiza el programa instruido por el usuario; Registro y actualización de salidas, en este se restaura de manera coetánea todas las salidas.



Figura 16. PLC Siemens SIMATIC S7-200. Tomado de Siemens AG.

3.2.5 Señal de corriente 4-20 mA

Señal de control utilizada en procesos en muchas industrias. Esta señal es ideal para transmitir información de procesos ya que la corriente no cambia a medida que viaja del transmisor hasta el receptor, es un método de transmisión de información sencillo y rentable; Sin embargo, las caídas de tensión y la cantidad de variables de proceso que deben ser monitoreadas pueden afectar su costo y complejidad.[20]

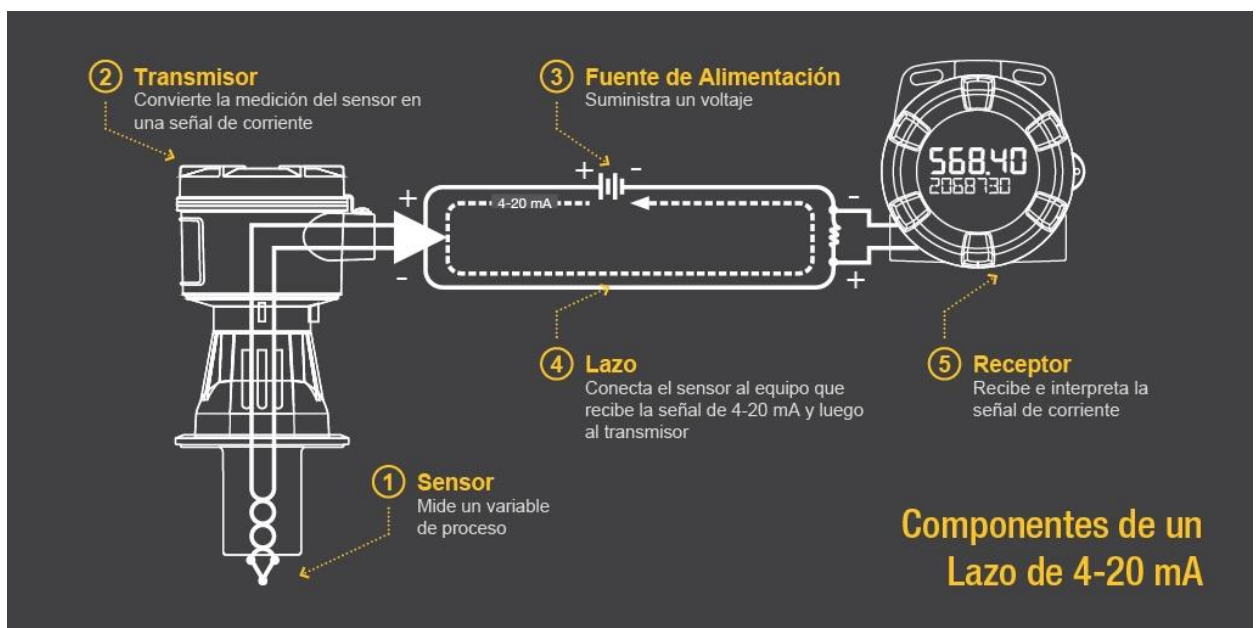


Figura 17. Componentes de un lazo de comunicación 4-20mA. Tomado de Precisión Digital Corporation.

Por ejemplo, en el caso del control de posicionamiento de una válvula, se maneja una señal analógica de 4-20 mA en la cual 4 mA es 0% (cerrada) y 20 mA es 100% (abierta), por ejemplo, una señal de 12 mA es el 50% de apertura de la válvula.

3.3 Normatividad

Los códigos y normas para la selección de actuadores se presentan a continuación en la tabla 1. Es de mencionar que las normas presentadas en la tabla son complementarias entre sí, pero en caso de discrepancias regirá la más completa y vigente.[3]

ORGANIZACIÓN EMISORA DE LA NORMA	ESPECIFICACION DE LA NORMA	DESCRIPCION DE LA NORMA
IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.	IEEE1202	Norma para pruebas de propagación de fuego de cables.
ANSI: American National Standards Institute.	B 16.5	Bridas para tuberías y accesorios de acero y hierro dúctil, Válvulas de compuerta
NEMA: National Electrical Manufacturers Association.	ICS 6-88	Encerramientos para sistemas de control industrial.
	250-91	Encerramientos para equipos eléctricos.
ISO: International Organization for Standardization.	ISO DIS 16422	Tubos y Uniones Fabricados de Policloruro de Vinilo Orientado Molecularmente (PVC-O) para Transporte de Agua.
	ISO 4064	Medición de Caudal de Agua en Conductos Cerrados Totalmente Cargados - Medidores para Agua Potable Fría y Agua Caliente
NFPA: National Fire Protection Association.	496-2003	Norma para encerramientos de equipos eléctricos en áreas peligrosas.
ISA: Instrument Society of America.	ISA 5.1 1984	Símbolos de instrumentación e identificación.
	ISA-S20 1981	Especificaciones para las formas de medición de procesos e instrumentos de control, elementos primarios y válvulas de control.
UL: Underwriters Laboratories.	UL 1685	Pruebas de propagación de fuego para bandejas porta cables y liberación de humo para cables de fibra óptica y eléctrica.
NTC: Norma Técnica Colombiana.	NTC 2050	Código Eléctrico Colombiano.

Tabla 1. Normas para la selección de actuadores.[21]

3.4 Estrategias de Control

- **Control ON-OFF:** También llamado control de 2 posiciones, En este sistema de control el controlador solo tiene dos posiciones fijas a su salida como acción de control, independientemente de que el elemento final de control pueda tener posiciones intermedias a las anteriormente enunciadas. En relación a este comportamiento en el controlador, la salida simplemente pasa del estado: On (Encendido) al estado OFF (Apagado) o viceversa. Este tipo de control es ampliamente usado por su simplicidad y bajo costo, es utilizado en sistemas de corte, bloqueo de producto en tanques de almacenamiento, válvulas de control, entre otras.[22]
- **Control Proporcional-Integral- Derivativo (PID):** Este tipo de control recopila las ventajas de los controladores PD y PI; El funcionamiento de este controlador corresponde a la superposición de la acción proporcional, integral y derivativa. Al superponerse estas acciones se logra obtener las ventajas que ofrecen cada una de las tres acciones de control individuales, logrando de esta manera estabilizar rápidamente el valor de la variable, eliminar el offset y lograr que la perturbación del sistema sea pequeña, aumentando así la estabilidad del mismo. Hay que señalar también que la mayoría de controladores digitales incorporan fórmulas correctivas para evitar excesivo rebasamiento o un comportamiento demasiado brusco.[22]

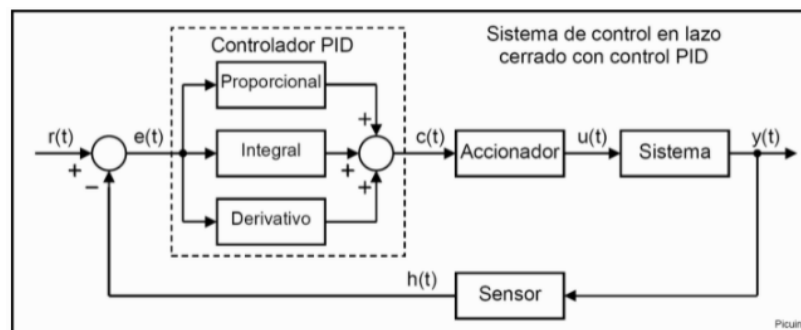


Figura 18. Control PID en sistema de lazo cerrado. Adaptado de Picuino.

- **Control por lógica difusa:** Este tipo de control propone la existencia de estados infinitos entre los límites de la lógica bivalente (1 y 0). La lógica en la que se basa este control se apoya en conjuntos difusos, la cual es una teoría de conjuntos modificada donde los elementos pertenecen a conjuntos en un grado variable. Al aplicar lo anterior a la lógica, en lugar de utilizar dos valores de certeza como el 0 y el 1, se utiliza una escala continua en el rango de 0 a 1, para de esta manera medir el grado cumpliendo condiciones. Asemejándose lo anterior a la forma natural de pensar de las personas. Este tipo de control se puede utilizar en cualquier proceso, como la regulación de velocidad, caudal, temperatura, presión, entre otras y es especialmente útil cuando se dispone de experiencias previas.[23]

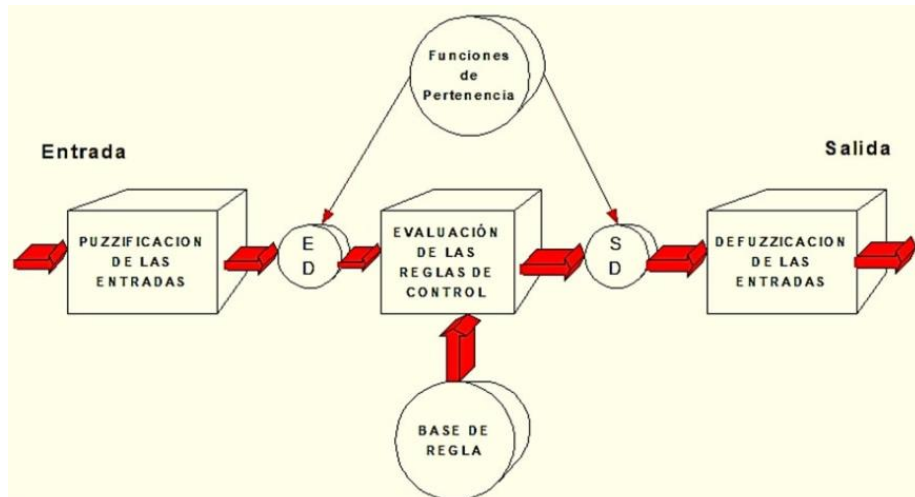


Figura 19. Control por lógica difusa. Adaptado de Revista “Automatizacion.PE”.

- Control por red neuronal:** Una red neuronal es un modelo simplificado que emula la manera en que el cerebro humano procesa la información; Esta funciona con un número elevado de unidades de procesamiento interconectadas que trabajan simultáneamente, asemejándose estas a una versión abstracta de las neuronas. Este tipo de control es ampliamente utilizado en la inteligencia artificial inspirándose en el comportamiento del cerebro humano se busca dar soluciones a través de modelos artificiales a problemas difíciles de resolver mediante técnicas convencionales. Las redes neuronales están formadas por capa de entrada, un determinado número de capas ocultas y la capa de salida.

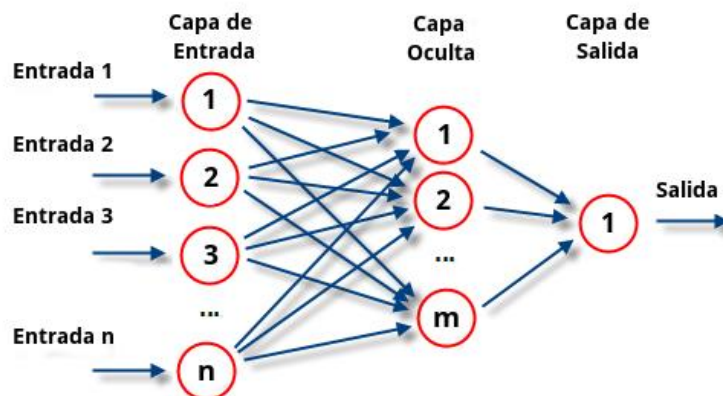


Figura 20. Esquema de una red neuronal. Tomado de ATRIA Innovation.

Entre las ventajas que brindan las redes neuronales encontramos: Una alta capacidad de aprendizaje, Una autoorganización, Una alta tolerancia a los fallos, Es bastante flexible y se pueden obtener resultados en tiempo real al complementarse estas con computadoras. En base a una red neuronal se pueden desarrollar controles supervisados, inversos directos, retro propagación de utilidad y critico adaptativo.[24]

- Control por sistema experto:** Los sistemas expertos pertenecen a una rama de la inteligencia artificial, estos son utilizados en procesos de automatización donde es difícil obtener un modelo matemático o su dinámica es compleja, donde por lo general la actividad debe llevarse a cabo por un operador experto. Por lo anterior el principal objetivo de un sistema de control experto es desarrollar un controlador inteligente que logre mantener la estabilidad y funcionamiento adecuado del proceso; Los sistemas de control expertos tienen dos enfoques: La implementación como control basado en conocimiento el cual busca el óptimo ajuste de los parámetros sobre un controlador adaptativo convencional y el control basado en reglas, el cual simula y automatiza la experticia con que se opera normalmente un proceso. Básicamente un sistema experto está compuesto por una base de conocimientos y un motor de inferencia, el primero tiene la información en forma estructurada mientras el segundo contiene la lógica para relacionar esa información, con lo anterior y unos datos de entrada se empieza a consultar la base de conocimientos para hilar conclusiones intermedias hasta llegar a un resultado final [26].

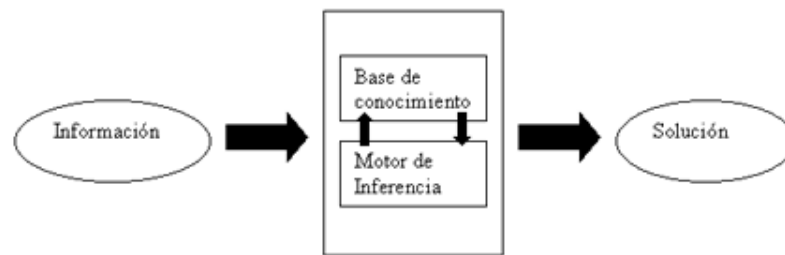


Figura 21. Estructura de un sistema experto. Adaptado de “tecnología de sistemas expertos para el análisis del comportamiento humano de acuerdo con el modelo del cerebro triádico”.

3.5 Protocolos de Comunicación.

- ModBus:** Es un protocolo de comunicación estándar desarrollado por Modicon Inc, este protocolo es ampliamente utilizado en los sistemas de control industrial. Este se basa en una relación maestro-esclavo en donde el equipo que hace las veces de maestro, comúnmente llamado “Host” y los esclavos normalmente son los dispositivos remotos como PLC, actuadores, entre otros.

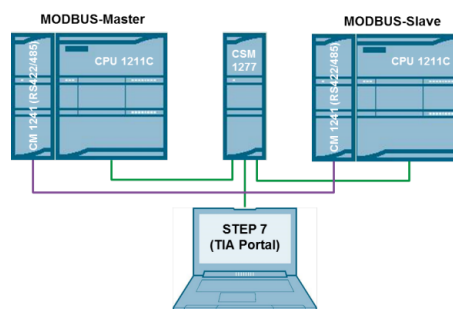


Figura 22. Comunicación Modbus. Tomado de Siemens AG.

- Profibus:** Protocolo de comunicación estándar de bus de campo abierto independiente, de origen alemán. Este protocolo se usa normalmente para la interconexión de dispositivos de campo de entrada/salidas simples con PLC y computador. Este protocolo es ofrecido por la mayoría de fabricantes en sus dispositivos, su aplicación va desde la transmisión de datos a alta velocidad como para tareas de comunicación extensa y compleja. La arquitectura de este protocolo de comunicación se divide en tres tipos principales: DP, el cual permite la comunicación de datos a alta velocidad entre PLCs/PCs y los dispositivos de campo; PA, esta permite la conexión de transmisores de caudal, temperatura, presión, nivel, posicionadores y demás en un bus, incluso en zonas con riesgo potencial de explosión, lo anterior debido a la capacidad de llevar la energía de alimentación de los instrumentos a través del mismo cableado encargado de la transmisión de datos; FMS, este es capaz de manejar todas las tareas intensivas de transferencia de datos comunes en las comunicaciones industriales, por lo que es ampliamente utilizado para la transferencia de información en todos los niveles de automatización.[28]

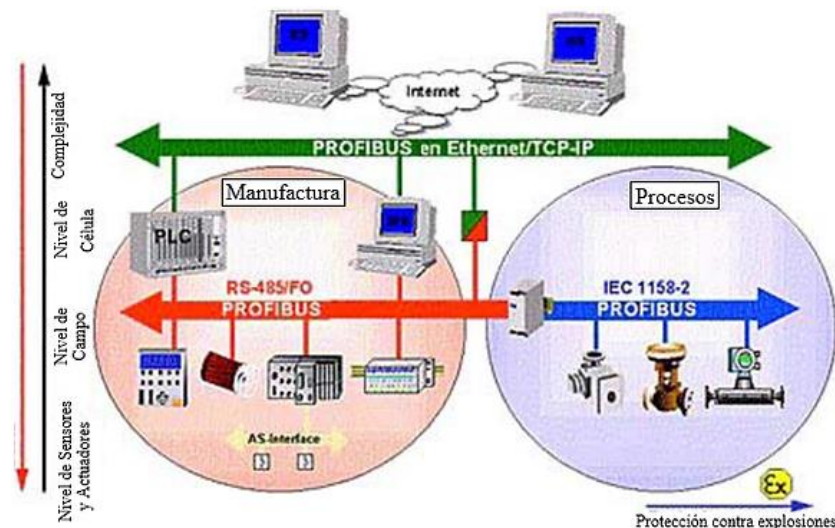


Figura 23. Comunicación Profibus. Adaptado de “Blog de Instrumentación de Procesos Industriales de la Universidad de Carabobo, Venezuela”.

3.6 Acometidas y Protecciones.

- Puestas a tierra:** Los conductores de las instalaciones y circuitos se ponen a tierra para limitar las tensiones debidas a rayos, subidas de tensión en la red o contacto accidental con líneas de alta tensión y para estabilizar la tensión a tierra durante su funcionamiento normal. Los conductores de puesta a tierra de los equipos se conectan equipotencialmente al conductor del sistema puesto a tierra de modo que ofrezcan un camino de baja impedancia para las corrientes de falla, que facilite el funcionamiento de los dispositivos de protección contra sobre corriente en caso de falla a tierra [3].

Se permite instalar conductores de puesta a tierra desnudos, cubiertos o aislados. Los conductores de puesta a tierra cubiertos o aislados individualmente deben tener un acabado exterior continuo verde o verde con una o más rayas amarillas.

Los terminales de conexión de los conductores de puesta a tierra de los equipos se deben identificar:

- Mediante un tornillo terminal de cabeza hexagonal o similar de color verde.
- Mediante una tuerca terminal hexagonal o similar de color verde.
- Mediante un conector a presión de color verde.

Si el terminal del conductor de puesta a tierra no es visible, se debe rotular el orificio de entrada del conductor de puesta a tierra con la palabra "Verde" ("Green") o "Tierra" ("Ground"), o con las letras "V" o "T" [30].

- **Alimentación:** El tipo de cable a utilizar para la alimentación de los actuadores de válvulas motorizadas depende de la aplicación y de las características del área en la cual se ubicará la válvula y su automatismo. Para instalaciones críticas donde el ambiente lo requiera, el cableado deberá ser resistente al fuego, libre de halógenos, no propagador de incendio, con baja emisión de humos opacos y baja emisión de gases tóxicos y corrosivos; Este deberá estar especialmente diseñado para garantizar la alimentación a servicios de seguridad en caso de incendio (750° C durante 90 minutos según IEC 60331-21). Los cables de potencia, control y de comunicaciones resistentes al fuego, asociados a las válvulas motorizadas, para montajes a la vista interior o exterior serán instalados en ducto metálico RMC (Rigid Metal Conduit) y deberán cumplir con las siguientes características mínimas:
 - Integridad del circuito: según norma IEC 60331-21
 - Retardante a la llama: según norma IEC 60332-1
 - Propagación de llama: según norma IEC 60332-3
 - Densidad de humo. Según norma IEC 61034-1 y 2
- **Corta circuito termomagnético:** Este dispositivo también es llamado “*Taco*” o *Breaker*; Partiendo del hecho que cada máquina se considera como una unidad independiente, por lo tanto, debe de tener su propio medio de protección contra la sobre corriente, el cual debe consistir en un solo interruptor automático o en un conjunto de fusibles en su defecto. Un cortacircuito termomagnético es un dispositivo de protección, cuya función es similar a la de los fusibles; Es decir, en caso de presentarse variaciones en la corriente eléctrica que pongan en peligro la integridad del dispositivo protegido por este, impedirá el flujo de corriente hacia el dispositivo. Es de mencionar que este dispositivo no solo brinda una protección similar a la de un fusible, pues también provee protección contra otras fallas en el circuito eléctrico distintas a sobreintensidades, adicional a esto, estos dispositivos pueden ser reutilizados una vez que se presenta alguna falla, a diferencia de los

fusibles que se destruyen cuando la corriente que fluye por ellos sobrepasa los límites del dispositivo. [3]

Este dispositivo puede ser rearmado manual o automáticamente una vez que las condiciones normales de la energía de suministro se restablezcan, permitiendo la operación normal del sistema y continuando con la protección ofrecida.

- **Relé Térmico:** Estos dispositivos son utilizados para evitar sobrecalentamientos causados por las sobrecargas generadas por fallas en el arranque de los motores. Si el dispositivo de interrupción del motor está separado de él y su circuito de control está operado por un dispositivo protector integrado en el motor, debe estar dispuesto de manera que, al abrirse el circuito de control, interrumpa la corriente al motor [3].
- **Fusible:** Estos elementos de protección desechables se encargan de evitar que el equipo sufra una sobretensión, la cual puede generar fácilmente incendios en las instalaciones o la ruptura de otros componentes del circuito eléctrico. Por lo anterior son indispensables para salvaguardar la integridad de los equipos y en general de las instalaciones; El diseño de estos es tal que corta el paso de la corriente cuando esta supera el límite de intensidad, ya que en su interior cuenta con un filamento que se encarga de detener el flujo de corriente al fundirse o romperse por la sobretensión; En la actualidad existen diferentes tipos de fusibles industriales como los tipo americano de navajas, clase J, clase T, fusibles para drives clase J, acción rápida y acción ultrarrápida.

4. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE DISTRIBUCIÓN Y SU AUTOMATIZACIÓN PARCIAL.

Actualmente el sistema de bombeo de distribución del barrio Robertulio Lora cuenta con una automatización parcial que permite la operación automática de las bombas encargadas de llevar a cabo el llenado del tanque de distribución; Esta operación automática del encendido y apagado de las bombas consta de los siguientes equipos:

- Dos bombas Flowserve 2 ½ LR13 acopladas a dos motores WEG de 18,6kW [25HP], alimentados a 440V (Es de mencionar que el funcionamiento de este par de bombas es de configuración 1+1; Siempre es el de una en funcionamiento y otra de respaldo), encargadas de bombear agua desde el tanque de almacenamiento hasta el tanque de distribución del sector.
- Una válvula de compuerta elástica de vástago no ascendente Apollo de 8” y una válvula de compuerta de vástago no ascendente Apollo de 6”, ambas utilizadas para regular el caudal de entrada al tanque de almacenamiento, se encuentran ubicadas en la tubería que llega desde las plantas de tratamiento a través de las redes de acueducto; Es de mencionar que aunque ambas se encuentran en la misma línea actualmente solo se utiliza la de 8” la cual se instaló con el fin de no operar más la de 6”, ya que esta cuenta con un desgaste alto en sus componentes y su ubicación no brinda un manejo amigable con el operario.
- Un tablero de control y potencia (Según normatividad RETIE) de 1000mm × 800mm × 300mm de celda cerrada, elaborado en lámina *Cold-rolled* calibre 16 con un grado de protección medio ambiental IP20 con ventilación forzada mediante ventiladores. Este cuenta con las respectivas protecciones eléctricas necesarias según las características y potencias de los equipos presentes, pilotos de funcionamiento (led verde y led rojo) y un interruptor de paro de emergencia, adicional a lo anterior cuenta con un contador de horas de trabajo; Este alberga los dos variadores de frecuencia encargados de la programación del sistema, encendido y regulación de las bombas mencionadas.
- Dos variadores de velocidad GA800 YASKAWA, los cuales se encuentran almacenados en el tablero de control y gobiernan la automatización parcial presente, a través de las funciones de PLC embebido que contienen; Estas funciones y programación se realizan a través del software “DriveWorksEZ” el cual utiliza un lenguaje de bloques de funciones.
- Un medidor de presión hidrostática YOKOGAWA, el cual brinda el nivel del tanque de distribución a través de una conversión lineal de la presión medida cada 15 minutos, esta medición se realiza con las bombas apagadas; Cuando estas se

encienden, lo hacen durante 1 hora, se apagan y se mide la presión pasados 5 minutos que se estabiliza el sistema, de ser necesario se encienden las bombas nuevamente 1 hora más hasta alcanzar el nivel establecido para garantizar una distribución adecuada del servicio de agua potable.

- Un sensor de nivel ultrasónico SIEMENS, este se encarga de detectar el nivel del tanque de almacenamiento cada 5 minutos y cuenta con un rango superior a la altura total del mismo la cual es de 4 m (Aunque la altura total del tanque es de 4 m, la tubería de rebose se encuentra a 3.5 m); Este sensor garantiza que la activación de las bombas se realice siempre y cuando el nivel del tanque sea superior al mínimo, el cual es 0.49 m, evitando de esta manera comprometer la integridad de las bombas por fenómenos de cavitación.

La transmisión de datos y monitoreo del sistema, se realiza a través de la red inalámbrica LoRaWAN, esta emplea radiofrecuencia que permite la transmisión de datos a un alcance de 10 a 20 km, a su vez cuenta con conexión bidireccional encriptada de extremo a extremo, bajo consumo de energía, gran cantidad de conexiones de sensores y equipos a redes públicas o privadas, bajas velocidades de datos, baja frecuencia de transmisión, movilidad y servicios de localización. El adecuado funcionamiento de esta red radica en que el Gateway está ubicado estratégicamente con acceso a internet banda ancha, este recibe las señales de los transmisores ubicados en el tanque de almacenamiento y el tanque de distribución (Estas señales se transmiten en un protocolo de comunicación 4-20 mA; Siendo 4 mA cuando el tanque está lleno y 20 mA cuando el tanque se encuentra vacío) estas son retransmitidas a través del Gateway a la nube y mediante un servidor con una interfaz programada se le da el respectivo tratamiento de datos permitiendo acceder e interpretar fácilmente en tiempo real el estado de los tanques de distribución y almacenamiento en la aplicación *Varstracking*.

5. ESTUDIO DE COSTOS INCURRIDOS EN LA MANIPULACIÓN DE LA VÁLVULA.

De acuerdo con los históricos proporcionados por las Empresas Municipales de Cartago E.S.P se tiene un promedio por mes normal de 30 horas extras y si este mes cuenta con festivos este aumenta a 35 o 40 horas extras; El precio de estas horas extras oscila entre \$13.000 y \$20.000, el valor oscila dependiendo del operario que realice la maniobra, pues algunos son empleados con contrato a término indefinido y otros son empleados a término fijo, es de mencionar que los primeros tienen mejor remuneración salarial. No obstante, también se debe tener en cuenta el agua potable ya tratada por la empresa que se pierde en este sector al rebosarse el tanque, la cual se calcula de acuerdo al histórico de alarmas del tanque de almacenamiento; Este brinda información como la cantidad de tiempo que el tanque presento rebose, fecha y nivel del tanque en el momento del rebose; Con la anterior información y los precios del servicio de agua potable por m^3 prestado por las Empresas municipales de Cartago se procede a realizar los siguientes cálculos.

FUNCIONARIO	CANTIDAD DE HORAS EXTRAS [h]	VALOR HORA EXTRA [COP]	COSTO DEL FUNCIONARIO AL MES [COP]	
TERMINO INDEFINIDO	30	20,000.00 COP	600,000.00 COP	
	40		800,000.00 COP	
TERMINO FIJO	30	13,000.00 COP	390,000.00 COP	
	40		520,000.00 COP	
DATOS RELEVANTES		CANTIDAD DE AGUA POTABLE PERDIDA POR HORA [m^3/h]	COSTO DEL REBOSE DEL TANQUE [COP/h]	COSTO DEL REBOSE AL MES [COP]
PRECIO DEL AGUA [COP/ m^3]	3,826.30 COP	53.91	206,293.00 COP	2,846,843.40 COP
VELOCIDAD DEL AGUA [m/s]	0.821			
DIAMETRO TUBERIA DE REBOSE ["]	6			
TIEMPO DE REBOSE [h]	2.30			
COSTO ANUAL DEL FUNCIONARIO [COP]		COSTO ANUAL DEL REBOSE [COP]	COSTO TOTAL ANUAL [COP]	
7,200,000.00 COP		34,162,120.75 COP	41,362,120.75 COP	
9,600,000.00 COP			43,762,120.75 COP	
4,680,000.00 COP			38,842,120.75 COP	
6,240,000.00 COP			40,402,120.75 COP	

Tabla 2. Cálculo de costos al presentarse rebose en el tanque de almacenamiento.

Nota: Es de mencionar que el rebose no sucede todos los días durante el mes; Sucede de cinco a seis días al mes durante 2 horas y 30 minutos en promedio por día de acuerdo a la información suministrada por los funcionarios.

6. PROPUESTA(S) DE EQUIPOS PARA LLEVAR A CABO LA APERTURA Y CIERRE DE LA VÁLVULA SIN NECESIDAD DE INTERVENCIÓN MANUAL DE LOS OPERARIOS.

De acuerdo con la automatización parcial presente en el sistema de bombeo del barrio Robertulio y los datos proporcionados por la empresa y fabricantes se realizan los cálculos necesarios para la selección de los componentes de cada propuesta.

DATOS DE LA VÁLVULA Y PROCESO					
ΔP [psi]	15	Fabricante	Apolo	Paso [in]	0.21
Fluido	Agua	Tipo	Compuerta	Tipo de rosca	ACME
Temperatura [°C]	25	Tamaño [in]	8	Entradas	1
Tiempo de uso de la válvula [mes]	8	Diámetro del Asiento [in]	8	Avance	0.21
Frecuencia de mantenimiento [día/mes]	1	Diámetro del Vástago [in]	1 1/4	Factor de Seguridad de la válvula	2
Frecuencia de operación [veces/día]	2	Número de Hilos	3	Vueltas para cerrar/abrir válvula	40

Tabla 3. Datos de la válvula y el proceso proporcionados por Ecartago y el fabricante.[29]

Una vez proporcionados los datos presentes en la tabla 3, se realizan los respectivos cálculos para conocer la potencia necesaria para abrir y cerrar la válvula:

Empuje pico (P/O Thrust)	12961.54 N [2913.87 Lb]	Par pico (P/O Thrust)	50.55 N m [37.28 Lb ft]	Par en funcionamiento	24.39 N m [17.99 Lb ft]	Velocidad de salida	9.52 rev ⁻¹ [1.00 rad/s]
Fuerza del fluido sobre la válvula	6707.78 N [1507.96 Lb]	Factor del vástago	0.0128	Giro del vástago	38.10 [revoluciones]		
Fricción del vástago con el empaque	6171.90 N [1387.50 Lb]	d	1.1450			Tiempo de apertura/cierre [min]	4
Efecto Pistón	81.90 N [18.41 Lb]	a	0.0584	u	0.2		

Tabla 4. Cálculos para conocer la potencia requerida por el sistema. [3]

Nota: Es de mencionar que en la estación de bombeo del barrio Robertulio, se cuenta con alimentación a 220V y 440 V a 60 Hz trifásica.

Conocida la potencia requerida por el sistema para llevar a cabo la apertura y cierre, se proponen tres alternativas, las cuales se mencionan a continuación, con sus respectivas ventajas, desventajas y características técnicas:

- **Actuador eléctrico tipo Plug-in:** Este tipo de actuador cuenta con todo lo necesario para la automatización de la apertura y cierre incluido de una manera compacta, pues en un solo cuerpo integra el sistema de control en general,

motor eléctrico, caja reductora y demás componentes necesarios incluyendo protecciones tanto mecánicas como eléctricas para el accionamiento de la válvula, respondiendo este a las señales enviadas por el variador GA800 presente en la estación de bombeo.

Con los datos obtenidos a través de los cálculos, se encuentra el equipo adecuado para la operación de la válvula:

Available Voltages

3 Phase, 60 Hz	208, 230, 380, 440, 460, 575, 690
3 Phase, 50 Hz	220, 380, 415, 460
1 Phase, 60 Hz	115, 208, 230
1 Phase, 50 Hz	115, 208, 230
DC	12, 24, 48, 125, 250

M2CP Multi-Turn Actuators

Torque & Thrust Model	Torque		Thrust (force)		Maximum Acme Stem Diameter		RPM range		Mounting Base
	Ft-Lbs	Nm	Lbs.	KN	In.	mm	60 Hz	50 Hz	
1000	130	176	10,000	44	1.38	35.1	8-144	7-120	FA07,10/F07,10
2000	410	556	30,000	133	2.25	57.2	8-144	7-120	FA14,16/F14
3000	900	1,220	45,000	200	3.00	76.2	8-144	7-120	FA16/F16
3000A	900	1,220	45,000	200	3.50	88.9	8-144	7-120	FA16,19/F16
4000	1,400	1,898	75,000	334	4.00	101.6	8-144	7-120	FA25/F25
5000	1,900	2,576	90,000	400	3.50	88.9	8-96	7-120	FA30/F30
6000	5,800	7,864	196,000	872	5.00	127.0	8-48	7-120	FA30,35/F30,35
7000	8,075	10,948	335,000	1,490	6.00	152.4	8-24	7-120	FA40/F40
8000	16,000	21,693	500,000	2,224	7.00	177.8	8-24	7-120	FA40/F40

Tabla 5. Instructivo para la selección de actuadores EIM según requerimientos del sistema.[31]

Nota: Es de mencionar que el equipo M2CP modelo 1000 cumple con las características del sistema; Sin embargo, se selecciona el modelo 2000 por el diámetro máximo del vástago soportado para un mejor ajuste del *bushing* al interior del actuador y por la robustez de la base de montaje, brindándonos una mejor sujeción y mayor resistencia una base F14 a diferencia de una F07 o F10.

Una vez seleccionado el actuador, para su montaje se debe realizar la respectiva instalación de las protecciones eléctricas y sus acometidas, entre las cuales encontramos *breakers*, contactores, relé térmico, puestas a tierra, cables de comunicación y alimentación; Adicional a esto se debe realizar la fabricación de los acoples mecánicos y el *bushing* encargados de unir el actuador con la válvula; La fabricación de estos se realiza según la indicación del fabricante el cual indica la referencia y con base en la norma MSS SP-102-1989 se fabrican los elementos mencionados; En este caso se deben fabricar 2 acoples mecánicos de referencia FA14 en conjunto de un *bushing* correspondiente a estos acoples según la norma.

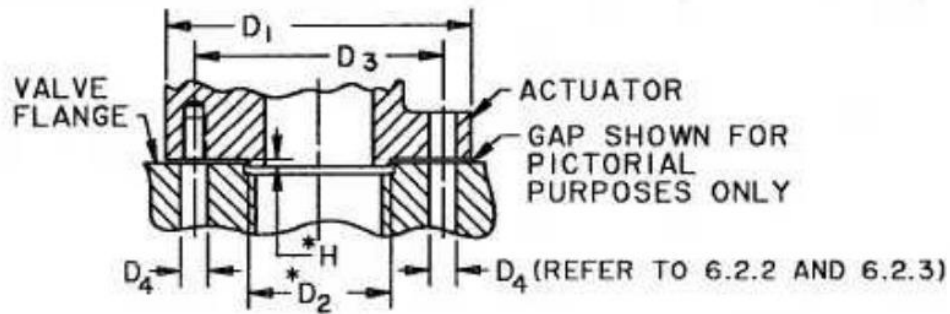


TABLE 1 — FA MOUNTING FLANGE TORQUE VALUES AND FLANGE DIMENSIONS
(See Figure 1)

Flange Type	Thrust		Torque		D ₁ Min.		D ₂		D ₃		D ₄ *	H Max.		No. of Bolts
	LB	KN	LB FT	NM	IN	MM	IN	MM	IN	MM		IN	MM	
FA07	4,500	(20)	30	(41)	3.54	(90.0)	2.166	(55.0)	2.75	(69.9)	5/16-18	.12	(3)	4 ✓
FA10	9,000	(40)	100	(136)	4.92	(125.0)	2.312	(58.7)	4.00	(101.6)	3/8-16	.12	(3)	4 ✓
FA14	25,000	(110)	400	(542)	6.89	(175.0)	3.750	(95.25)	5.50	(139.7)	5/8-11	.16	(4)	4 ✓
FA16	35,000	(154)	800	(1,085)	8.25	(209.6)	5.000	(127.0)	6.50	(165.1)	3/4-10	.19	(5)	4 ✓
FA25	50,000	(220)	1,200	(1,627)	11.38	(289.1)	6.000	(152.4)	10.00	(254.4)	5/8-11	.19	(5)	8 ✓
FA30	75,000	(330)	2,000	(2,712)	13.50	(342.9)	7.000	(177.8)	11.75	(298.5)	3/4-10	.19	(5)	8 ✓
FA35	140,000	(616)	4,500	(6,102)	16.00	(406.4)	8.500	(215.9)	14.00	(355.6)	1-8	.19	(5)	8 ✓
FA40	230,000	(1,012)	8,500	(11,526)	18.70	(475.0)	9.000	(228.6)	16.00	(406.4)	1 1/4-7	.32	(8)	8 ✓

ISO
5210
↓

M8 .31
M10 .39
M14 .63
M20 .79
M16 .63
M20 .79
M30 1.18
M36 1.4

*Refer to text for clarification of alternate clearance hole dimensions.

Figura 24. Dimensiones y especificaciones para la fabricación de acoples mecánicos.[32]

TABLE 2 — GROUP A — DRIVING COMPONENT DIMENSIONS
(See Figures 2 and 3)

Flange Type	FA07	FA10	FA14	FA16	FA25	FA30	FA35	FA40	
D ₆	IN (MM)	.079 (20)	1.10 (28)	1.42 (36)	1.73 (44)	2.35 (60)	3.15 (80)	3.94 (100)	4.72 (120)
D _x	IN (MM)	1.02 (26)	1.57 (40)	2.17 (55)	2.95 (75)	3.35 (85)	3.94 (100)	5.91 (150)	6.89 (175)
L	IN (MM)	0.98 (25)	1.57 (40)	2.17 (55)	2.76 (70)	3.54 (90)	4.33 (110)	5.91 (150)	7.09 (180)
h max									
For top-entry stem nut	IN (MM)	2.36 (60)	4.04 (103)	6.2 (157)	7.1 (179)	8.00 (203)	9.3 (235)	10.4 (264)	13.0 (330)
For bottom-entry stem nut	IN (MM)	2.36 (60)	3.15 (80)	4.33 (110)	5.31 (135)	5.91 (150)	6.89 (175)	9.34 (250)	12.80 (325)

Figura 25. Dimensiones y especificaciones para la fabricación de bushings de acuerdo al acople mecánico.[32]

La principal ventaja de esta alternativa es lo compacto del sistema y facilidad de instalación del mismo; Sin embargo esta se encuentra frente a desventajas como la necesidad de fabricar acoples mecánicos y bushings para su acoplamiento con la válvula, el costo del mismo al ser este un equipo que se

requiere importar y dado el caso de la falla de un elemento, es necesario desmontar el equipo completo y proceder a su reparación, implicando lo anterior que se incurran en tiempos muertos considerables durante alguna reparación en el momento en que suceda algún imprevisto.

- Actuador eléctrico con sistema de control a través de PLC:** Esta alternativa consta de un PLC, variador, motorreductor, transmisión de potencia por cadena (Esta hará las veces de embrague biestable, pues al estar el motorreductor sobre una platina que permita graduar la tensión de la cadena, también permitirá en el caso de una emergencia que no se cuente con suministro eléctrico, desacoplar la misma y operar la válvula manualmente) y las respectivas protecciones eléctricas y mecánicas; El PLC se encargará del control del resto del sistema, este recibe las señales proporcionadas por el variador GA800 presente en la automatización parcial, recibidas estas señales y realizada la lógica de su programación procederá al accionamiento del motorreductor a través del variador a la frecuencia rotacional requerida requeridas y se realizará la apertura o cierre de la válvula según sea la necesidad.

Conociendo la potencia, régimen de giro y par motor necesarios, se realiza la búsqueda del motorreductor.

SIMOGEAR Geared Motors								
Helical geared motors								
Geared motors up to 55 kW								
Selection and ordering data								
P_{rated} kW	n_2 rpm	T_2 Nm	i -	F_{R2} N	f_R -	m kg	Article No. (Article No. supplement → below)	Order code No. of poles
0.25	D.39-LA71MG4							
	9.6	250	141.17	3 110	0.8	11	2KJ3203 - ■ CD11 - ■ ■ M1	
	11	225	128.34	3 740	0.88	11	2KJ3203 - ■ CD11 - ■ ■ L1	
	12	199	112.53	4 390	1.0	11	2KJ3203 - ■ CD11 - ■ ■ K1	
	13	178	100.44	4 920	1.1	11	2KJ3203 - ■ CD11 - ■ ■ J1	
	15	158	89.51	5 410	1.3	11	2KJ3203 - ■ CD11 - ■ ■ H1	
	16	146	82.63	5 720	1.4	11	2KJ3203 - ■ CD11 - ■ ■ G1	
	19	128	72.34	5 800	1.6	11	2KJ3203 - ■ CD11 - ■ ■ F1	
	21	112	63.43	5 800	1.8	11	2KJ3203 - ■ CD11 - ■ ■ E1	

Figura 26. Tabla de características para seleccionar motorreductor. Adaptado de SIEMENS.[33]

Nota: Es de mencionar que el catálogo tomado de referencia es de la marca SIEMENS, sin embargo, no es obligación optar solo por esta marca, siempre y cuando cumpla las características se puede optar por cualquier otra marca de motorreductores.

Una vez seleccionado el motorreductor, se debe seleccionar un variador de frecuencia adecuado para mover un motor con las características seleccionadas, para la selección del variador se deben tener en cuenta la siguiente información proporcionada por el fabricante del motor y las condiciones de funcionamiento:

- El tipo de carga: Si el par es constante, par variable o potencia constante, en este caso se trata de un par variable.
- Las características del motor: Como la corriente y potencia nominal, factor de potencia y velocidad del motor.
- Los rangos de funcionamiento: la velocidad máxima y mínima.
- El par en el arranque: se debe verificar que no supere los límites del variador, ya que si este supera el 170% del par nominal es conveniente sobredimensionar el variador.

Adicional a los elementos seleccionados, se propone un sistema de transmisión de potencia por cadena que cuente con el engranaje conductor de 16 dientes y un engranaje conducido de 30 dientes, brindando de esta manera una relación de transmisión de $i = 0,5$; Es de mencionar que en esta alternativa se deben de fabricar o comprar y posteriormente adaptar las ruedas dentadas a la salida del motorreductor y la válvula respectivamente. En esta alternativa se cuenta con dos relaciones de transmisión, la primera brindada por el reductor acoplado al motor, el cual provee una frecuencia rotacional baja, el segundo brindado por el sistema de transmisión por cadena, el cual provee una reducción adicional de la velocidad dada por el motor, algo que es importante dado que para la apertura/cierre de la válvula bajo los parámetros establecidos se requiere baja velocidad.

Como ventajas se puede encontrar un equipo bastante práctico y de fácil arreglo dado el caso de un fallo, pues al presentarse un error o falla en el PLC solo será cambiar el respectivo módulo y proceder a verificar la programación, la cadena es fácil de sustituir, al igual que la compra o fabricación de las ruedas dentadas; Como desventaja se encuentra el alto costo de los PLC, sumado a la vinculación del programa que gobierna el sistema de apertura/cierre al de encendido/apagado de las bombas, el cual hace parte de la automatización parcial existente.

- **Actuador eléctrico con sistema de control a través de variador (con funciones de PLC integradas):** Esta alternativa no dista mucho de la anterior, con la diferencia de que en esta se cuenta directamente con un variador con funciones de PLC integradas, sin necesidad de un PLC que gobierne el sistema, pues el variador también se encarga del control al contar este con las funciones del mismo. Esta consta de variador, motorreductor, transmisión de potencia por cadena, la cual hará las veces de embrague biestable al funcionar como en la alternativa anterior y las respectivas protecciones eléctricas y mecánicas; El variador se encarga no solo del control del motor, sino de la lógica del sistema, este recibe las señales proporcionadas por el variador GA800 presente en la automatización parcial, realiza la lógica de su programación y procede al accionamiento del motorreductor a la frecuencia

rotacional requerida, con ello se realiza la apertura o cierre de la válvula según sea la necesidad.

Conociendo la potencia, régimen de giro y par motor necesarios, se realiza la búsqueda del motorreductor de igual manera que en la alternativa anterior. Una vez seleccionado este, se selecciona un variador de frecuencia, para la selección de este se deben tener en cuenta datos como el tipo de la carga, características del motor, rangos de funcionamiento, par de arranque y la aplicación del mismo. De igual manera se propone una transmisión de potencia por cadena con un engranaje conductor de 16 dientes y un engranaje conducido de 30 dientes, los cuales brindan una relación de transmisión de $i = 0,5$; Es de mencionar que en esta alternativa al igual que en la anterior se deben de fabricar o comprar y posteriormente adaptar las ruedas dentadas a la salida del motorreductor y la válvula respectivamente. También se contarán con dos relaciones de transmisión, la primera brindada por el reductor acoplado al motor, el cual entrega una frecuencia rotacional baja en comparación a la salida del motor, el segundo brindado por el sistema de transmisión por cadena, el cual reduce aún más la velocidad.

Al ser esta propuesta bastante similar a la anterior se encuentran ventajas similares como la practicidad del equipo, la compra o fabricación de elementos relativamente de bajo costo al no ser demasiado exigentes las características de funcionamiento y un ahorro al no requerir de un PLC para el control del sistema; Como desventaja se encuentra que esta propuesta, a diferencia de su homóloga que cuenta con un PLC, se requerirá de un técnico con conocimiento en el lenguaje utilizado por el variador dado el caso que este no cuente con lenguaje LADDER, a su vez este mismo deberá encargarse de la vinculación de esta automatización a la ya existente en la estación, al fallar el variador se requerirá cambiarlo por completo si no es viable su reparación, recordando que es este quien contiene la programación, dará lugar a una parada con tiempos muertos bastantes altos a la espera de la sustitución o reparación del mismo.

7. RESULTADOS

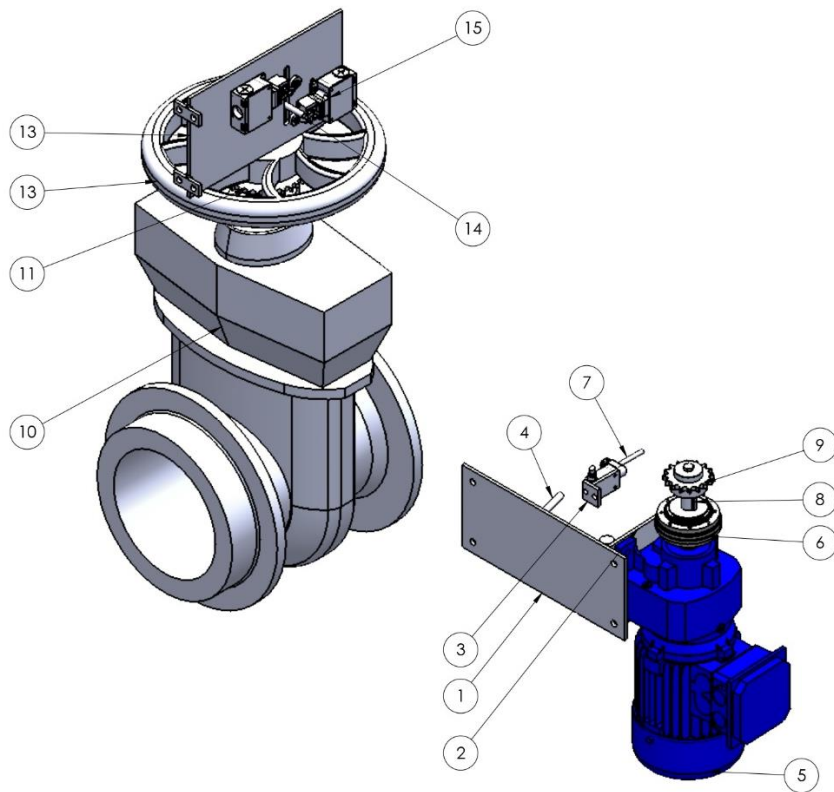
Se analizan las tres alternativas propuestas y se encuentra que dentro de estas la que se adapta más fácil a la automatización parcial existente y la que cuenta con mejor relación costo beneficio es la tercera propuesta, la cual consta de un actuador eléctrico con sistema de control a través de variador, el cual cuenta con funciones de PLC embebidas.

7.1 Resultados de la propuesta de equipos.

Para la propuesta seleccionada se requerirá un taco trifásico, un variador de frecuencia, un contactor, un relé térmico, un motorreductor, un limitador de torque con rango de 10 a 700 Nm, dos engranajes rectos tipo B (uno de 16 dientes y uno de 30 dientes), una cadena de rodillos de una hilera con paso de $\frac{1}{2}$ " , tres finales de carrera (uno para detectar cuando se accione el limitador de torque y dos para detectar la apertura y cierre completo de la válvula respectivamente), dos platinas para ubicar y soportar los finales de carrera (una para los dos finales de carrera ubicados en la válvula y una para el final de carrera ubicado en el limitador de torque); Adicional a lo anterior se requiere el montaje del motorreductor sobre una platina base la cual por medio de dos bisagras estará acoplada a una platina móvil, la primera se encuentra sujeta a la pared y la segunda se encargara de soportar el motorreductor, adicional a las dos bisagras de acoplamiento contara con una bisagra y tornillo soldado que hará las veces para ajustar la posición del motorreductor y a su vez la tensión requerida del sistema de transmisión, se deberá contar con un tablero de control, el cual deberá contener: Un selector de operación manual-automático; Dos pulsadores (cerrar y abrir); Un pulsador tipo seta de parada de emergencia, dos pilotos luminosos (uno verde el cual indicara que el sistema está en funcionamiento y uno rojo que indicara el sistema en falla o paro), dos relés sin enclavamiento con bobina a 24V DC, estos reciben señales del variador y gobiernan el encendido o apagado de los pilotos luminosos (Estos deben tener sus bases para su respectiva conexión) ; Protecciones eléctricas; Bornes de conexión; Señalización; Cableado, insumos eléctricos y tubería sujetos a normativas. Es de mencionar que todo el equipo electromecánico y eléctrico mencionado se encuentra alimentado por una tensión de 220V o 440V según sean las características de los equipos seleccionados.

La programación del PLC (integrado en el variador) está a cargo de un especialista en el lenguaje utilizado por el equipo o en su defecto por un técnico especializado en la marca del equipo seleccionado.

7.2 Levantamiento de planos



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Platina de soporte		1
2	Platina movil		1
3	Soporte del final de carrera del limitador		1
4	Pin roscado regulador de tension		1
5	Motorreductor		1
6	Limitador de torque		1
7	Sensor final de carrera del limitador		1
8	Eje solido		1
9	Engrane recto 40B16		1
10	Valvula de compuerta de 8"		1
11	Engrane recto 40B30		1
12	Volante de la valvula		1
13	Soporte finales de carrera de la valvula		1
14	Pin accionador de finales de carrera		1
15	Sensor final de carrera de la valvula		2

Figura 27. Ensamblaje y lista de componentes del sistema propuesto. [Anexo A]

La cadena utilizada en el sistema de transmisión corresponde a una cadena de rodillos de paso ½" y de una sola hilera.

Nota: Los planos a detalle de cada uno de los componentes se encuentran en los anexos.

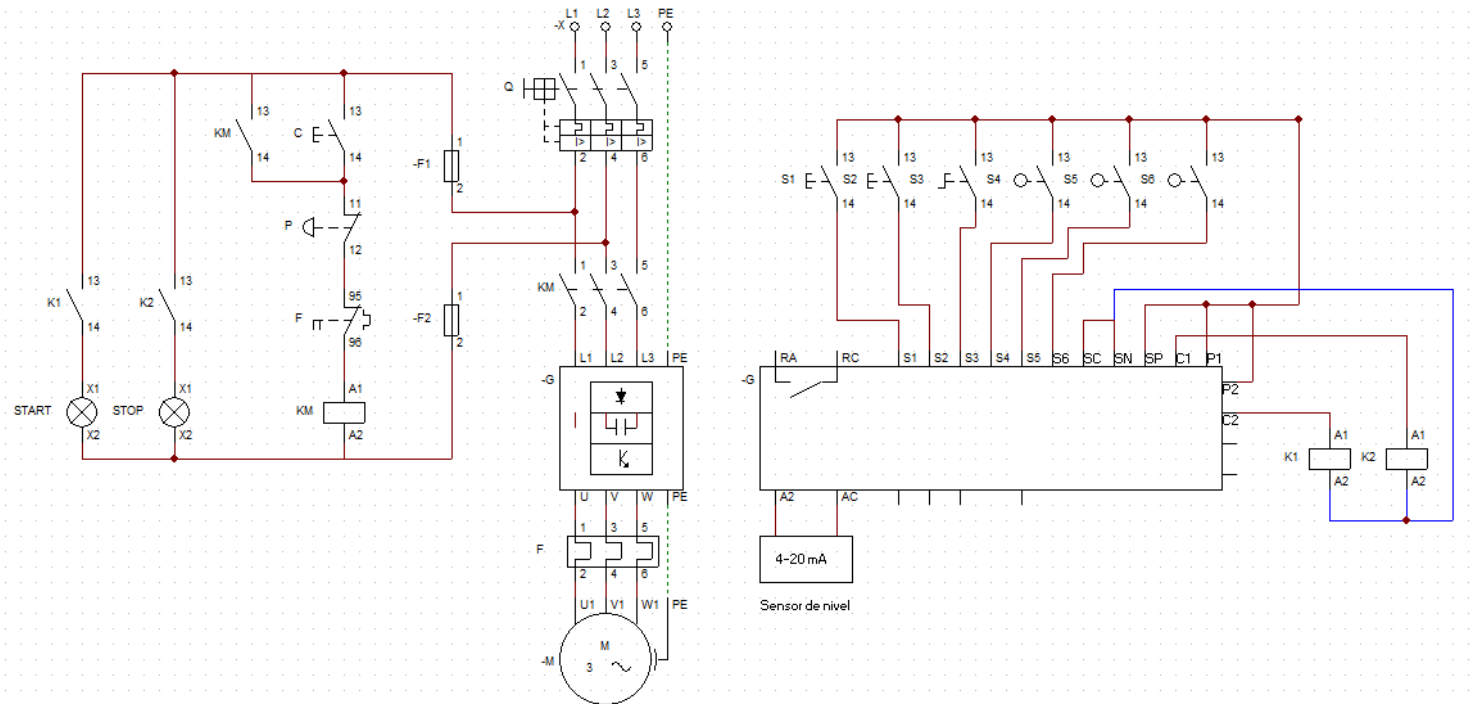


Figura 28. Plano eléctrico de conexión del sistema propuesto. A partir de especificaciones del Yaskawa, GA500 Technical Manual [Anexo B]

Del plano anterior se identifican S1, S2, S3, S4, S5 y S6 como las señales de abrir, cerrar, manual/automático, final de carrera (Válvula abierta), final de carrera (Válvula cerrada) y final de carrera (Limitador de torque) respectivamente; Dos pilotos luminosos (uno verde y uno rojo) de START y STOP; Un pulsador P de tipo seta para las paradas de emergencia; Protecciones eléctricas para el circuito; En las entradas A2 y AC se identifica la señal del sensor de nivel (el cual se comunica a través de protocolo 4-20 mA) y dos relés sin enclavamiento con bobina conectados a las salidas C1 y C2 (K1 y K2, los cuales gobiernan el encendido y apagado de los pilotos luminosos).

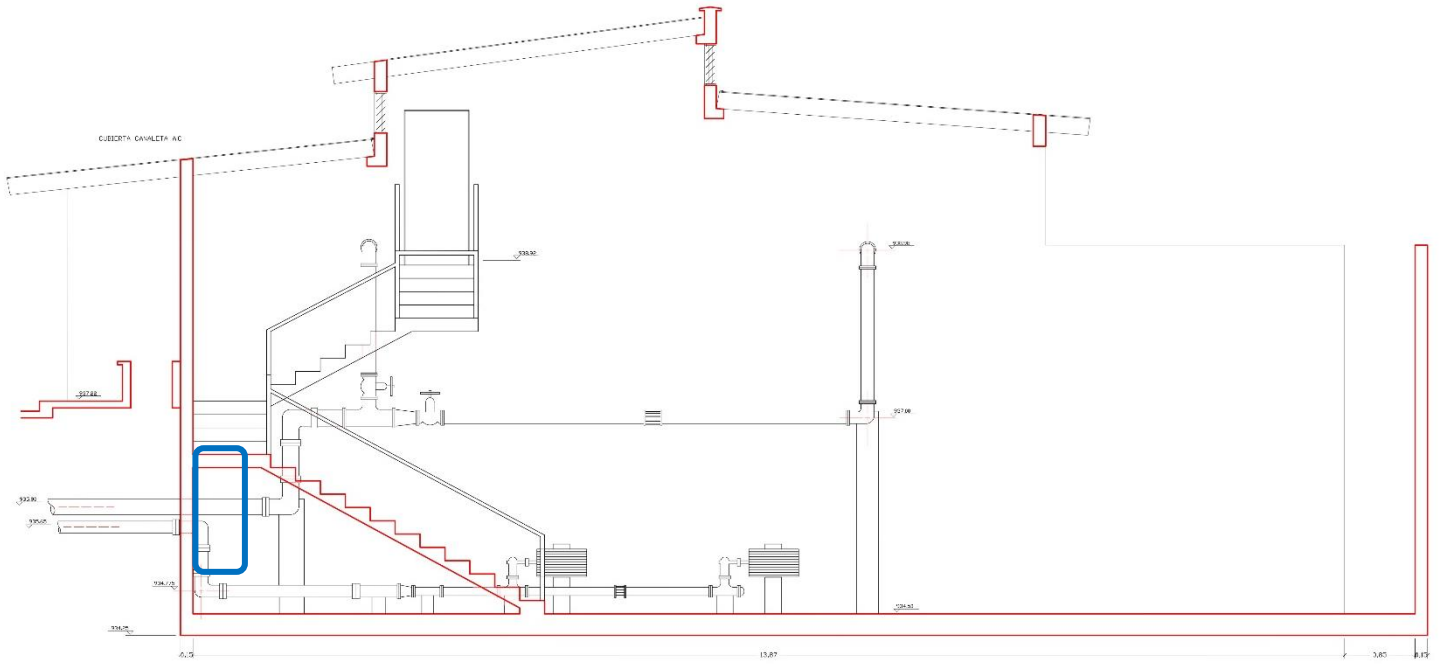


Figura 29. Plano en vista lateral de la sala de máquinas y tanque de almacenamiento del barrio Robertulio Lora, en el recuadro azul se indica el sitio tentativo para la instalación del sistema propuesto. [Anexo C]

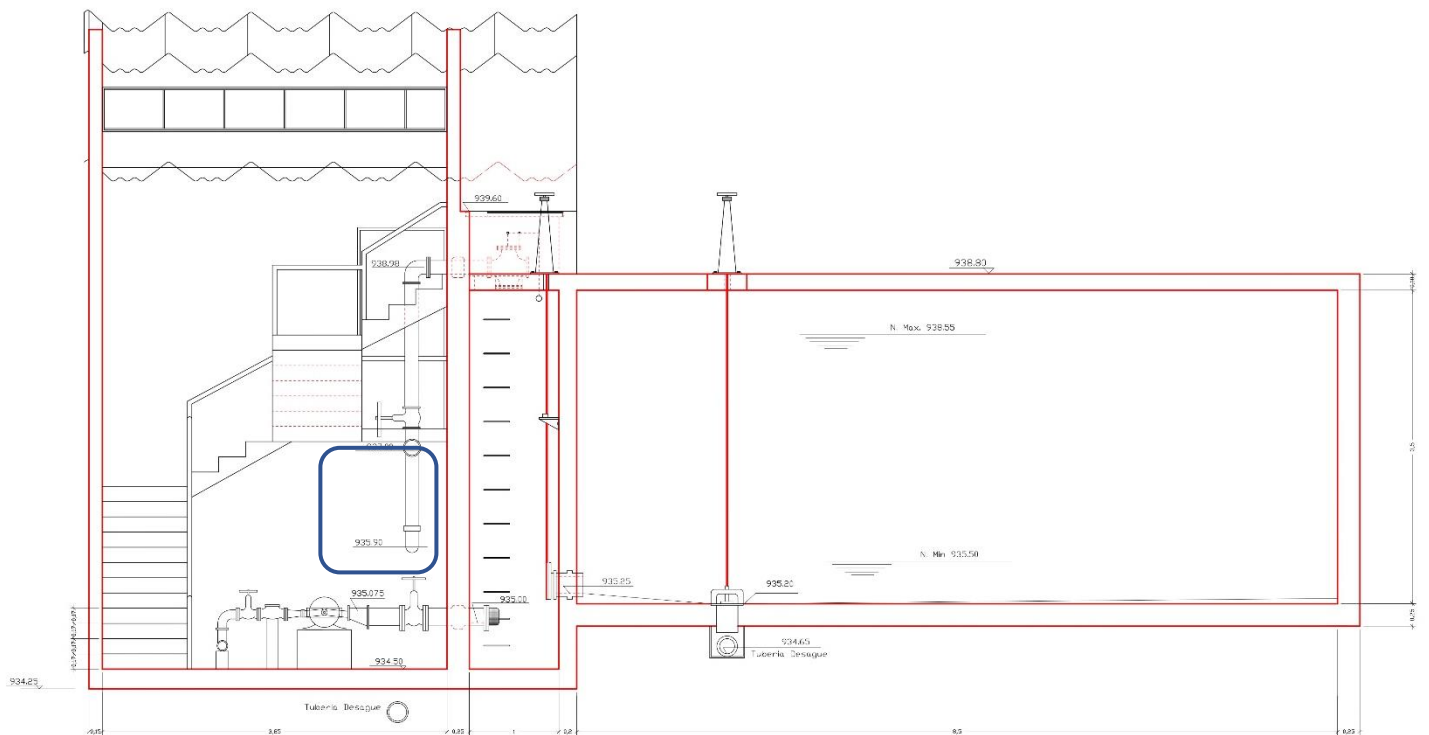


Figura 30. Plano en vista frontal de la sala de máquinas y tanque de almacenamiento del barrio Robertulio Lora, en el recuadro azul se indica el sitio tentativo para la instalación del sistema propuesto. [Anexo C]

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1 Conclusiones

- Se logra identificar cada uno de los componentes del sistema de bombeo auxiliar en el barrio Robertulio Lora, a su vez se identifica el funcionamiento y equipos presentes en la automatización parcial de la estación.
- Se analizaron y estudiaron las fichas técnicas de cada equipo, lográndose de esta manera una familiarización con la programación existente y su desempeño actualmente.
- Se participó en diversas tareas de mantenimiento, ayudando en la programación y ejecución de las mismas, con lo anterior se facilitó el aprendizaje y asimilación del funcionamiento de la estación de distribución de agua potable en el barrio Robertulio.
- Se recolectó información acerca del funcionamiento actual de la estación, cantidad de operarios, tiempo de manipulación de la válvula y el tiempo en que el tanque se encuentra en rebose, realizándose con esta información un estudio de costos aproximado del dinero que pierde la empresa por reboses y horas extras; Encontrándose un sobrecosto en horas extras y un desperdicio considerable de agua potable.
- Se logra establecer una propuesta de equipos de los cuales se selecciona la más adecuada de acuerdo a la automatización parcial existente.
- Se realiza el plano eléctrico tentativo del sistema propuesto y se suministran los planos mecánicos de los equipos propuestos.

8.2 Recomendaciones

Las recomendaciones que se proponen para la automatización planteada son:

- La delegación de tareas que tengan que ver con esta estación de bombeo auxiliar, sea mantenimiento o revisión rutinaria, delegar a un funcionario con contrato a término fijo; Lo anterior con la idea de disminuir el costo de las horas extras que se requieran.
- Se recomienda que el variador seleccionado para llevar a cabo la automatización de la apertura y cierre de la válvula, sea un variador de marca afín al ya existente en la automatización parcial; Lo anterior con el fin de lograr un mejor empalme de programación y adaptabilidad del sistema.
- La lubricación periódica y revisión de tensión de la cadena cuando se implemente este sistema.
- Se debe contemplar en el momento de la selección del motorreductor de seleccionar por encima de la potencia requerida lo anterior con el fin de tener un motorreductor con un par adecuado para realizar el cierre completo de la válvula, pues en las pruebas realizadas se encuentra que el par requerido para cerrar por completo la válvula en las últimas vueltas es mayor.

- Se propone a futuro estudiar la viabilidad de implementar un sistema de telemetría para la apertura y cierre manual de la válvula cuando se requiera, lo anterior disminuiría las horas extras que se incurran cuando se deba operar esta manualmente por alguna falla del sistema.
- Con el fin de garantizar el adecuado funcionamiento y protección de los equipos se recomienda la implementación de un limitador de par ajustable con un rango de 10 a 700 N.m o similar (recordando que el par pico de la válvula al cerrarse o abrirse es de 51 N.m aproximadamente) el cual se tuvo en cuenta en la propuesta planteada.
- Debido al funcionamiento del sistema de activación de los finales de carrera propuesto en la automatización, se recomienda utilizar sensores de finales de carrera de tipo rodillo, lo anterior con el fin de evitar interferencias en el funcionamiento del activador y el sensor.
- El sensor final de carrera encargado de detectar la activación del limitador de par, deberá estar ensamblado lo más cerca posible de la superficie del limitador, garantizando de esta manera una pronta activación al más mínimo accionamiento del limitador.
- Las platinas utilizadas para soportar los distintos elementos, se recomienda utilizarlas de 5mm de espesor, con el fin de brindar una buena resistencia a los distintos esfuerzos soportados por estas.
- La fijación del engrane recto 40B30 a la volante de la válvula se recomienda realizarla a través de 4 tornillos M10X1.0, para lo anterior se deberá perforar y posteriormente roscar los agujeros hechos en la volante.
- Los relés utilizados para encender y apagar los pilotos deberán ser sin enclavamiento con bobina a 24V DC, algún ejemplo de estos son los “OMRON MY2 24VDC” o afines, estos deberán ir en sus respectivas bases.

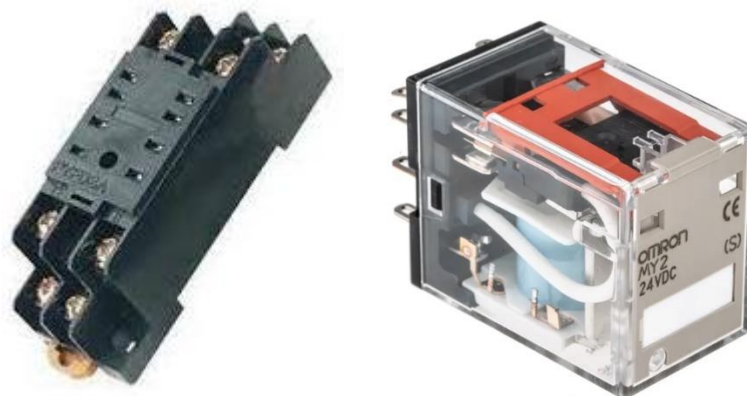


Figura 31. Relé OMRON y base para relé de 8 pines.

9. BIBLIOGRAFÍA.

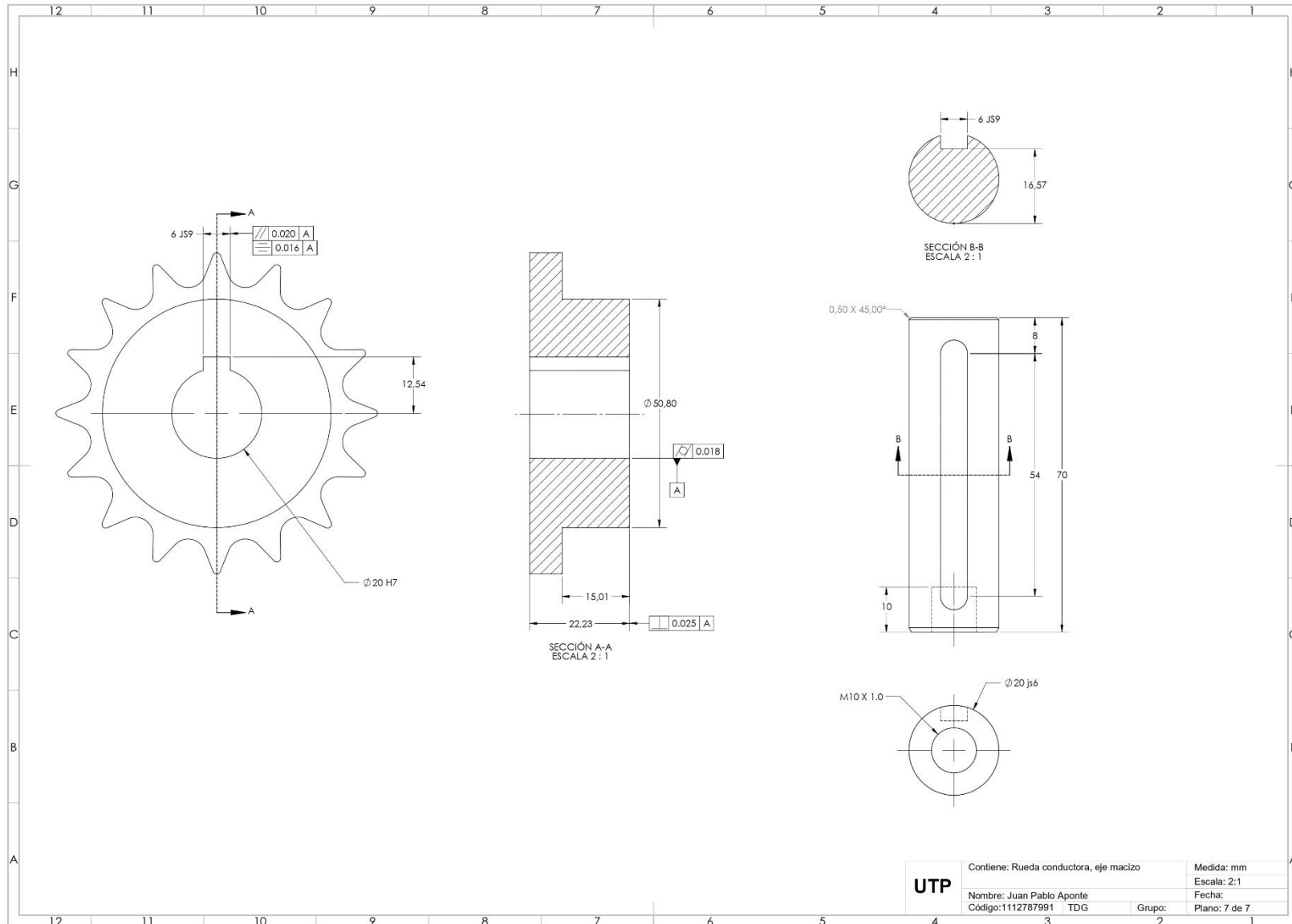
- [1] “Inicio-Emcartago”. Obtenido de: <https://emcartago.com/nuestra-empresa/quienes-somos/>
- [2] “Válvulas: Conocimientos básicos sobre sus 5 principales diseños”. Válvulas Internacionales, 2018. Disponible en: <http://valvulasinternacionales.com.pe/blog/valvulas-conocimientos-basicos/>
- [3] Luis Henry Gutiérrez Rodríguez. “INSTRUCTIVO PARA LA ELABORACIÓN DE INGENIERÍAS EN LA SELECCIÓN, MONTAJE E INSTALACIÓN DE ACTUADORES ELECTROMECÁNICOS PARA VÁLVULAS”. Repositorio UPB, 2010. Disponible en: https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1297/digital_20479.pdf?sequence=1
- [4] Eugenio Vildósola C. Soltex Chile S.A. “Actuadores para válvulas de control”, 2018. Disponible en: https://llamados.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS/1%20LLAMADOS%20EN%20TR%20C3%81MITE/2018/REF.%2014-2018%20-%20OFICIAL%20TALLER%20B%20-%20PLANTA%20MINAS%20-%20PERFIL%20INSTRUMENTOS/2%20-%20CONOCIMIENTOS%20ESPEC%20C3%81FICOS/7_V%20C3%81LVULAS%20DE%20CONTROL/ACTUADORES.PDF
- [5] Edwin Argemiro Romero Cortés. “OPTIMIZACIÓN DE MANTENIMIENTO EN LAS VÁLVULAS MOV 8670C DE HIDROCARBUROS EN ECOPETROL”. 2017. Repositorio Universidad EAFIT. Disponible en: https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/11832/RomeroCortes_EdwinArgemiro_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [6] “¿Qué es la automatización?” [Online]. Disponible en: <https://www.logicbus.com.mx/automatizacion.php>
- [7] “Actuadores neumáticos” [Online]. Disponible en: <https://www.chemik.es/actuadores-neumaticos/>
- [8] “Actuadores hidráulicos y sus tipos” [Online]. Disponible en: <https://automantenimiento.net/hidraulica/definicion-y-tipos-de-actuadores-hidraulicos/>
- [9] “Que es un actuador hidráulico” [Online]. Disponible en <https://spiegato.com/es/que-es-un-actuador-hidraulico>
- [10] “Actuadores eléctricos” [Online]. Disponible en: <https://www.instrumentaciondigital.es/actuadores-electricos-y-sus-funciones/>
- [11] “Encoder’s” [Online]. Disponible en: <https://www.guemisa.com/sicod/docus/ENCODER-TEC.pdf>
- [12] “¿Qué son los finales de carrera?” [Online]. Disponible en: <https://blog.gruponovelec.com/electricidad/finales-de-carrera-que-son-y-caracteristicas-principales/>
- [13] “Sensores de proximidad” [Online]. Disponible en: <https://www.arrow.com/es-mx/categories/sensors/proximity-sensors>

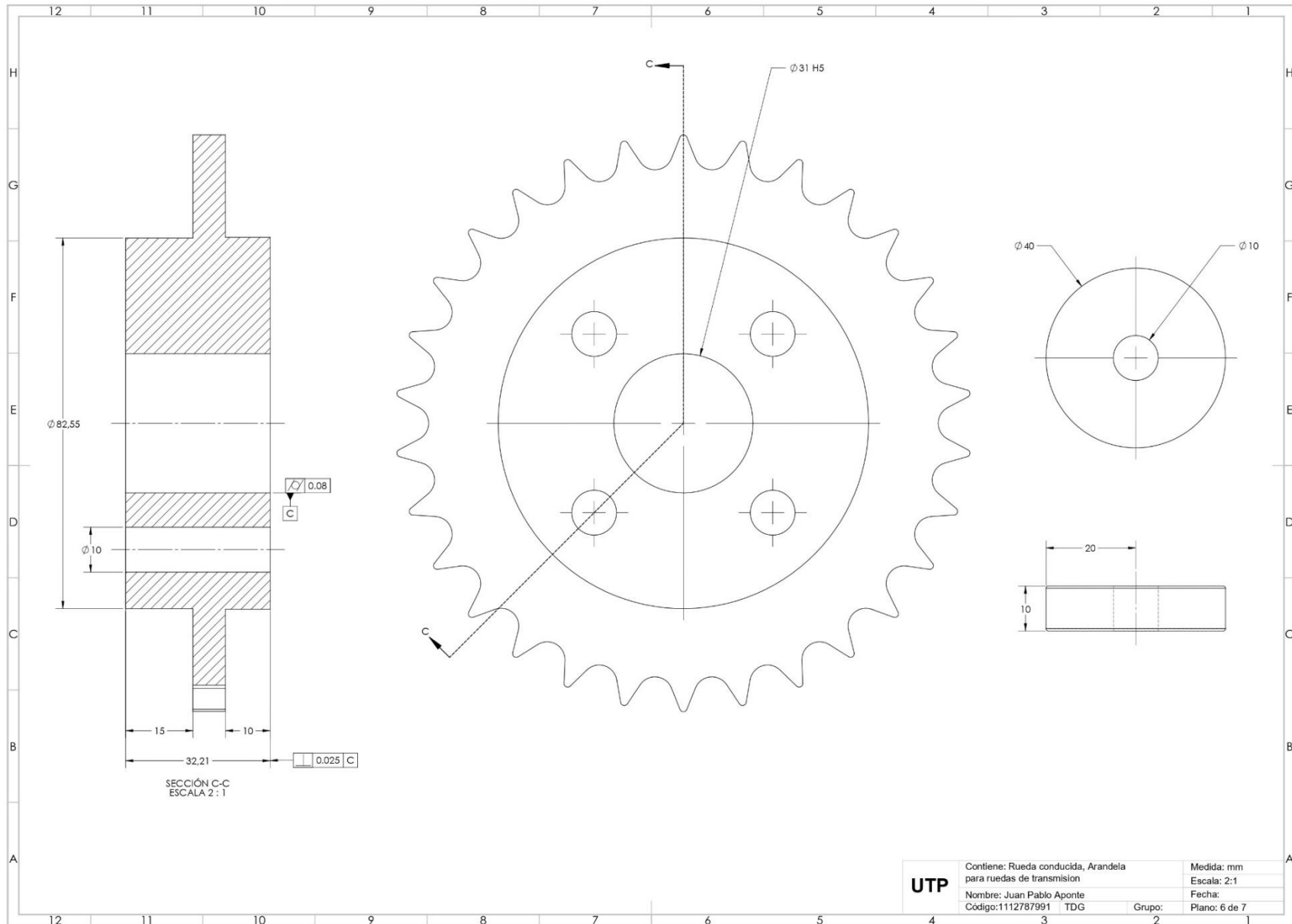
- [14] “Sensor Inductivo” [Online]. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensor-inductivo/>
- [15] “Sensores Capacitivos” [Online]. Disponible en: https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid_144.htm?view=productgroupoverview
- [16] “Potenciómetro” [Online]. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/electronica/potenciometro/>
- [17] “Sensores de ángulo inductivos” [Online]. Disponible en: <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/sensores-de-angulo-y-rotacion/sensores-de-angulo-inductivos-rvdt/>
- [18] “Synchro” [Online]. Disponible en: <https://www.tamagawa-seiki.com/products/resolver-synchro/synchro-about.html>
- [19] “¿Qué es un PLC?” [Online]. Disponible en: <https://www.industriasgsl.com/blog/post/que-es-un-plc-y-como-funciona>
- [20] “Fundamentos de lazos de corriente 4-20 mA” [Online]. Disponible en: <https://www.predig.com/whitepaper/de-regreso-lo-b%20al-sico-los-fundamentos-de-los-lazos-de-corriente-de-4-20-ma>
- [21] “Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de EPM”. 2009. Disponible en: https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/NormasDisenoSistemasAcueducto.pdf
- [22] Josep Balcells y José Luis Romeral. *Autómatas Programables*. Primera edición. Marcombo, 1997.
- [23] Juan David Sánchez Sosa y Rafael Alberto Betancur Ocampo. “IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO DE LÓGICA DIFUSA PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA EN UNA PLANTA PILOTO CON PLC A INSTALAR EN LOS LABORATORIOS DE AUTOMATIZACIÓN”. 2017. Repositorio IEM. Disponible en: [https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/155/SanchezSosaJuanDavid2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y#:~:text=Control%20difuso,-Para%20la%20d%C3%A9cada&text=En%20otras%20palabras%20la%20l%C3%B3gica,\(Tejada%20Mu%C3%B1oz%20202000\)](https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/155/SanchezSosaJuanDavid2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y#:~:text=Control%20difuso,-Para%20la%20d%C3%A9cada&text=En%20otras%20palabras%20la%20l%C3%B3gica,(Tejada%20Mu%C3%B1oz%20202000)).
- [24] “Modelo de redes neurales” [Online]. Disponible en: <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/SaaS?topic=networks-neural-model>
- [25] Eucario Parra Castrillón. “TECNOLOGÍA DE SISTEMAS EXPERTOS PARA EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HUMANO DE ACUERDO CON EL MODELO DEL CEREBRO TRIÁDICO”. *Revista virtual UCN*. Disponible en: <https://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/291/552>
- [26] Rafel Fierro Brito. “SISTEMA EXPERTO PARA EL CONTROL DE PROCESOS”. Repositorio Escuela Politécnica Nacional, 1991.
- [27] Juan Manuel Pignani. “SISTEMAS EXPERTOS”. Repositorio UTN. Disponible en: https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_ano/orientadora1/monografias/pignani-sistemasexpertos.pdf
- [28] “Instrumentación de procesos industriales: Profibus”. Repositorio Escuela de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Sistemas y Automática. Disponible en: <https://instrumentacionuc.wixsite.com/facultad-ingenieria/copia-de-devicenet>

- [29] Válvula de compuerta elástica con extremos bridados APOLO. Disponible en: <https://www.apolo.net.co/productos/valvulas/valvulas-de-compuerta-elastica/valvula-de-compuerta-elastica-extremos-bridadas/>
- [30] NTC 2050, Código Eléctrico Colombiano, 2020.
- [31] Emerson Electric Co, Actuador eléctrico de válvulas M2CP de Bettis. Disponible en: <https://www.emerson.com/en-us/catalog/automation-solutions/valves-actuators-regulators/electric-actuators/bettis-sku-m2cp>
- [32] Manufacturers Standardization Society of the Valve and Fittings Industry, Inc. Multi-turn Valve Actuator Attachment, 2001.
- [33] Catalogo “SIMOGEAR Geared Motors”, SIEMENS AG, 2015.
- [34] Catalogo “NORDBLOC.1 G1012 SK 072.1 - SK 973.1”, NORD DriveSystems, 2020.
- [35] Catalogo “Roller Chain Sprockets”, Martin Sprocket & Gear, Inc. Disponible en: https://es.martinsprocket.com/view/products/product-search?Website_Code=SP1

10. ANEXOS.

ANEXO A





Nota: Las ruedas dentadas presentadas son estándar, sin embargo, se encuentran modificadas de acuerdo a la necesidad del sistema propuesto, las modificaciones consisten en mecanizar de nuevo los agujeros de eje y perforación para la sujeción de la rueda dentada conducida a la volante.

Se anexan especificaciones de las ruedas dentadas según fabricante [35]:

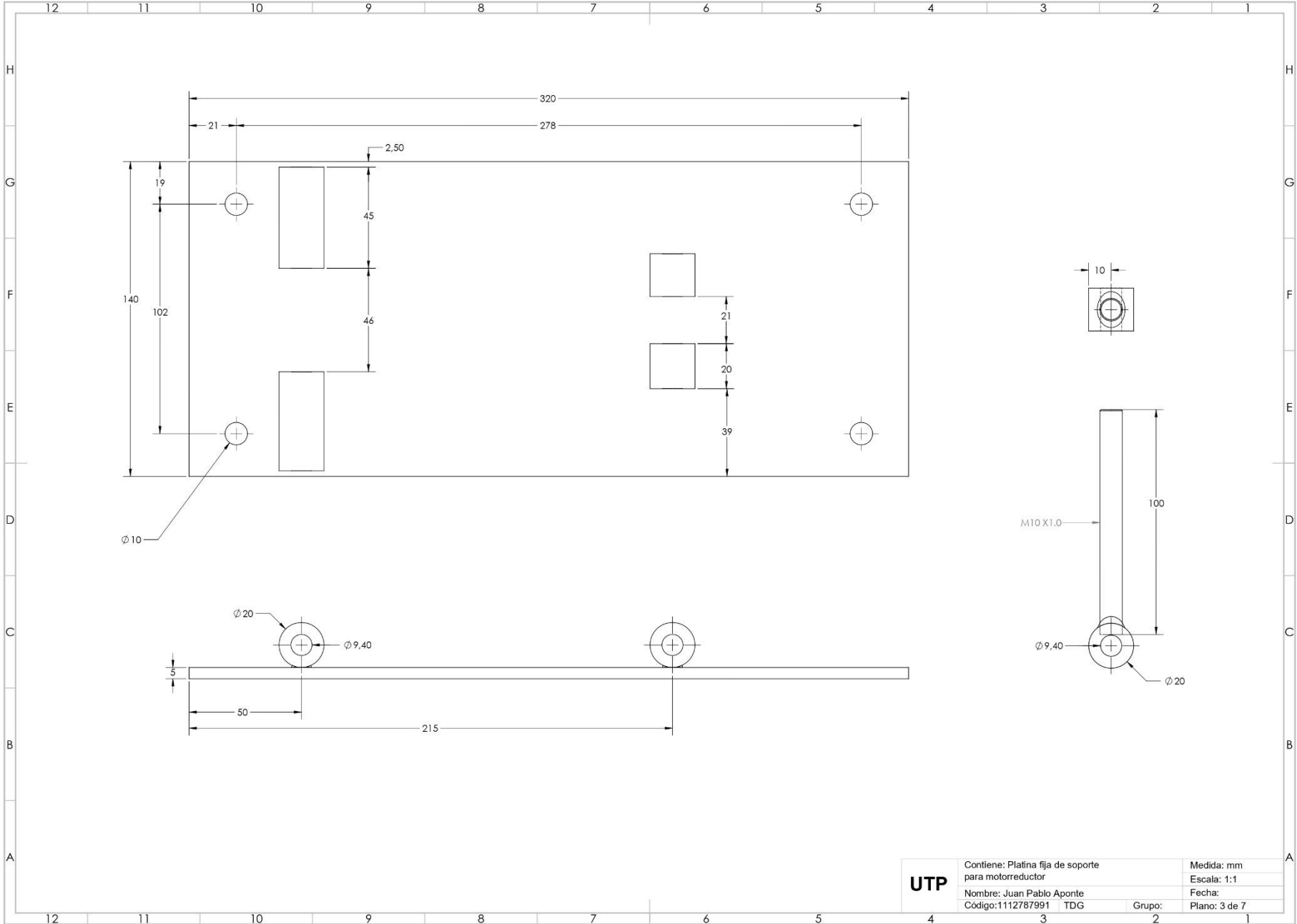
40B16

Material	Acero
Número de cadena	40
Paso de cadena ["]	0.5
Número de filas de cadena	1
Numero de dientes	16
Diámetro exterior ["]	2.814
Diámetro de paso ["]	2.563
Grosor del diente de una sola hebra ["]	0.284
Dientes endurecidos	No
Configuración del concentrador	B
Tipo de orificio	Diámetro interior
Tamaño de diámetro mínimo ["]	0.625
Tamaño de diámetro máximo ["]	1.375

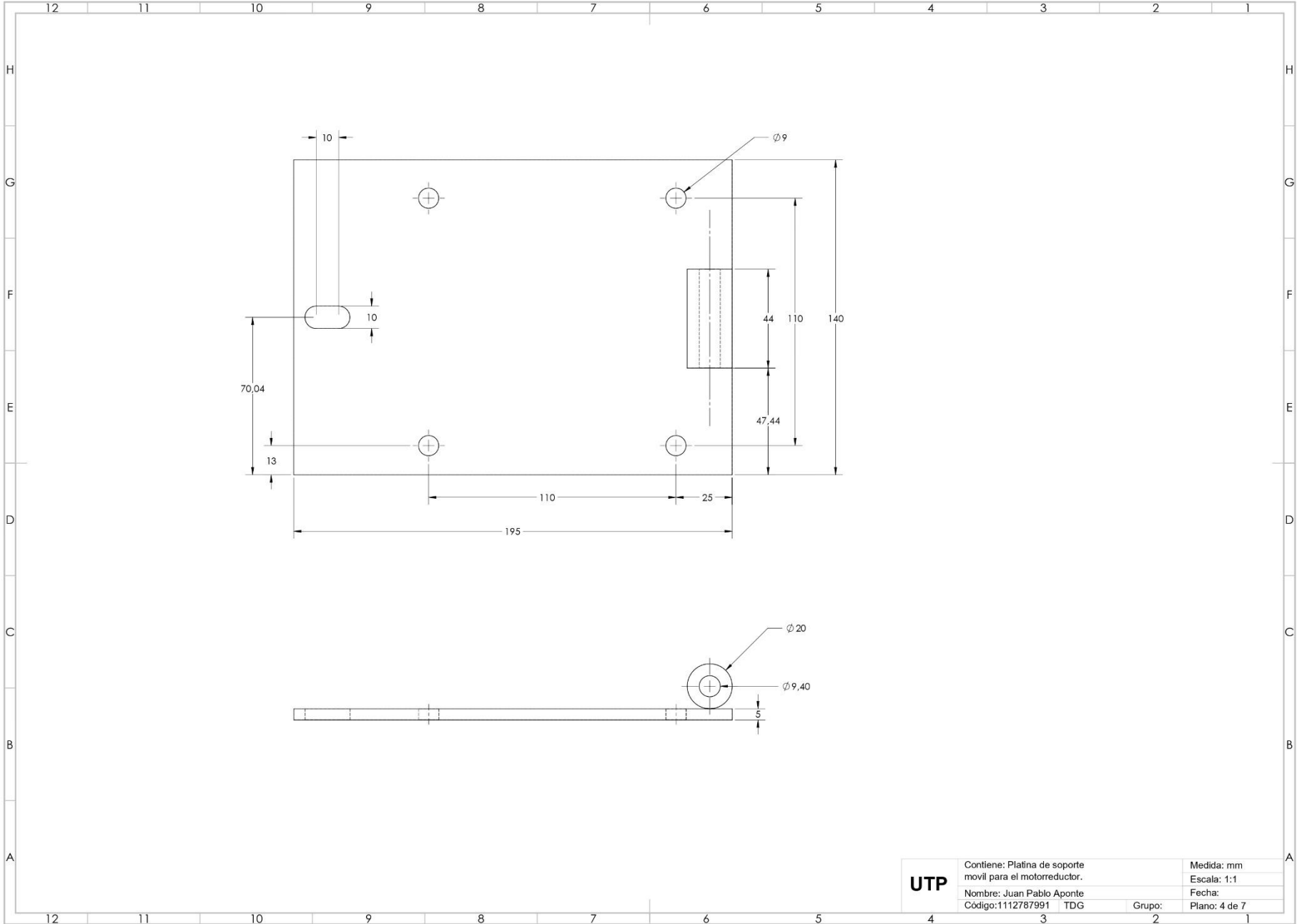
40B30

Material	Acero
Número de cadena	40
Paso de cadena ["]	0.5
Número de filas de cadena	1
Numero de dientes	30
Diámetro exterior ["]	5.057
Diámetro de paso ["]	4.783
Grosor del diente de una sola hebra ["]	0.284
Dientes endurecidos	No
Configuración del concentrador	B
Tipo de orificio	Diámetro interior
Tamaño de diámetro mínimo ["]	0.625
Tamaño de diámetro máximo ["]	2.250

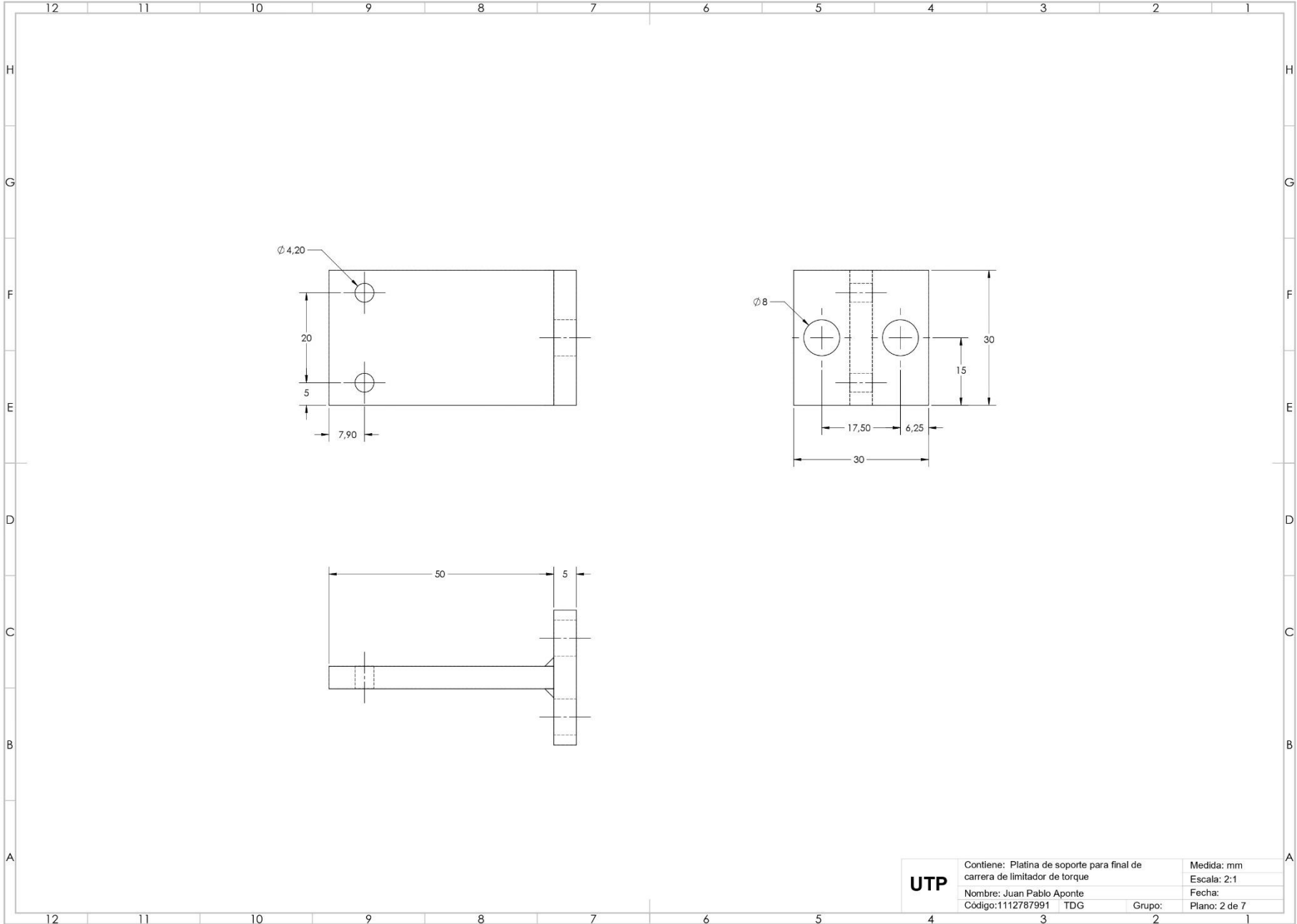
En los siguientes planos es de mencionar que la sujeción de las platinas a la pared del cuarto de máquinas se realiza a través de platinas más pequeñas perforadas y ubicadas simétricamente, estas se encuentran debidamente soldadas; Al igual que las bisagras que darán movilidad al motorreductor, adicional a esto los vástagos roscados de M10X1.5 y M10X1.0 del activador de los sensores de carrera y seguro de la platina móvil respectivamente, también se encuentran soldados a sus componentes aledaños (tornillo de sujeción de la volante y bisagra corta de la platina fija).



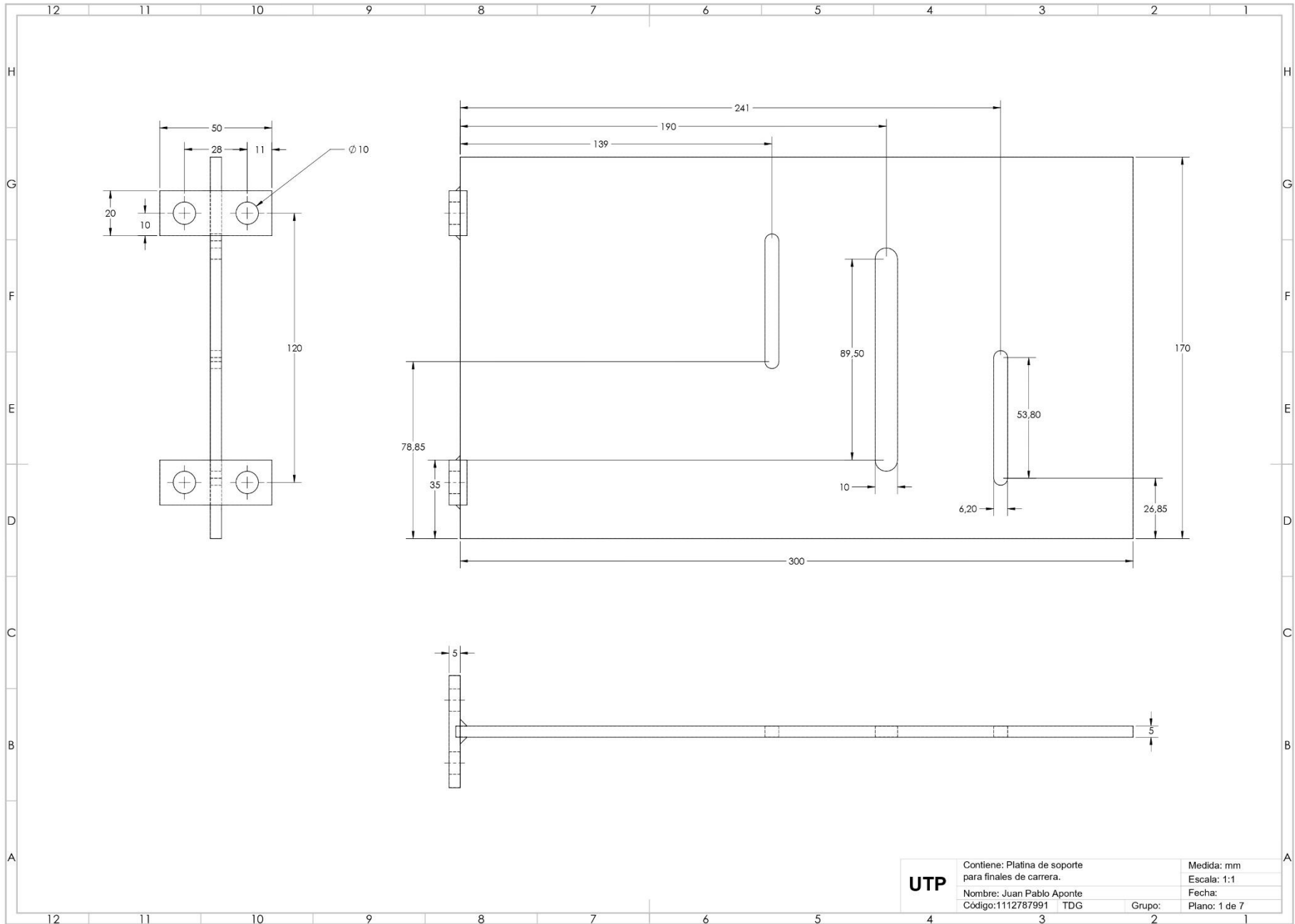
UTP	Contiene: Platina fija de soporte para motorreductor		Medida: mm
	Nombre: Juan Pablo Aponte		Escala: 1:1
	Código: 1112787991	TDG	Fecha:
	Grupo:	Plano: 3 de 7	

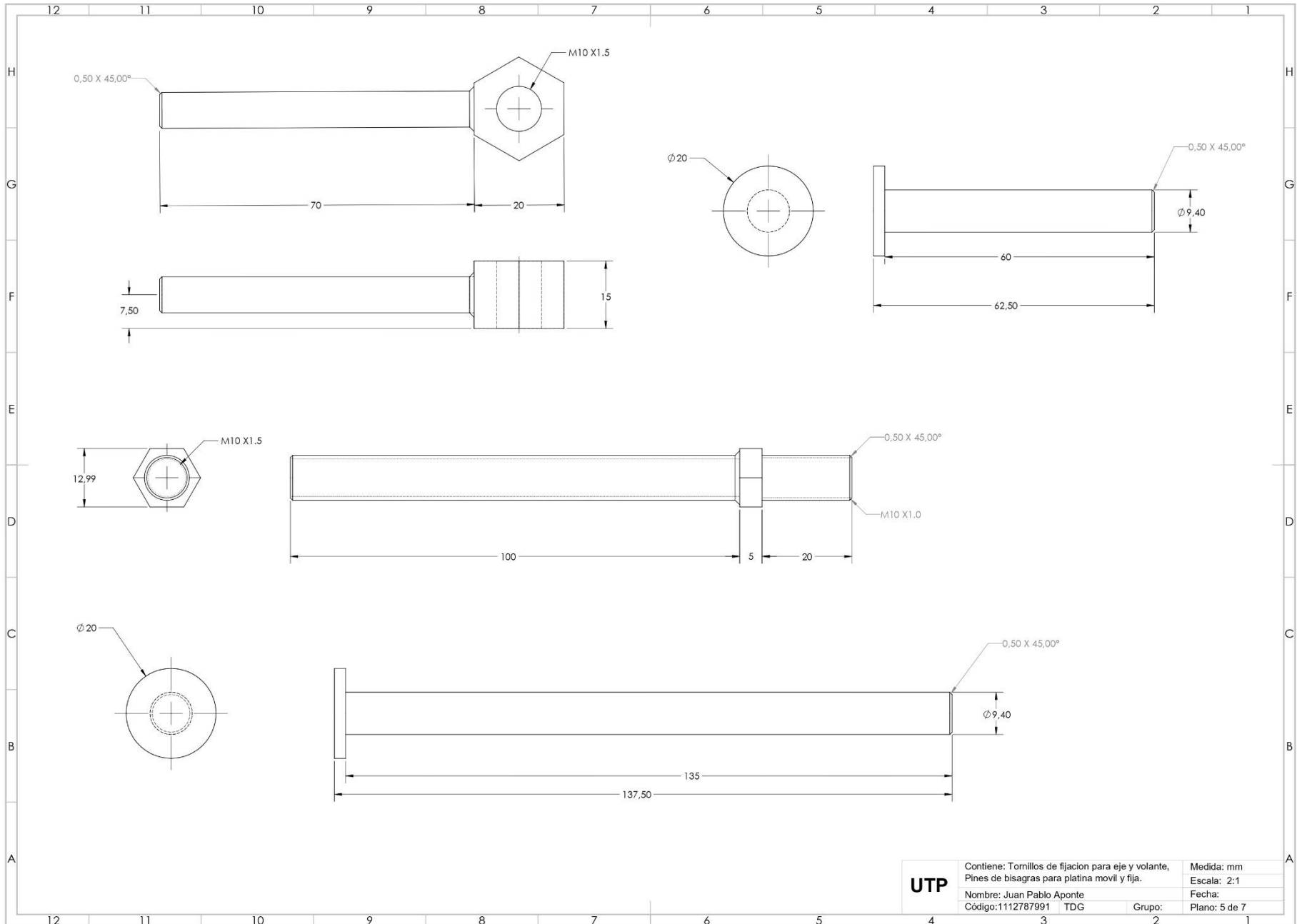


UTP	Contiene: Platina de soporte móvil para el motorreductor.		Medida: mm
			Escala: 1:1
	Nombre: Juan Pablo Aponte		Fecha:
	Código: 1112787991	TDG	Grupo: Plano: 4 de 7



UTP	Contiene: Platina de soporte para final de carrera de limitador de torque	Medida: mm
	Nombre: Juan Pablo Aponte	Escala: 2:1
	Código: 1112787991	Fecha:
	TDG	Grupo: Plano: 2 de 7





UTP	Contiene: Tornillos de fijacion para eje y volante,		Medida: mm
	Pines de bisagras para platina movil y fija.		Escala: 2:1
	Nombre: Juan Pablo Aponte		Fecha:
	Código: 1112787991	TDG	Grupo:
			Plano: 5 de 7

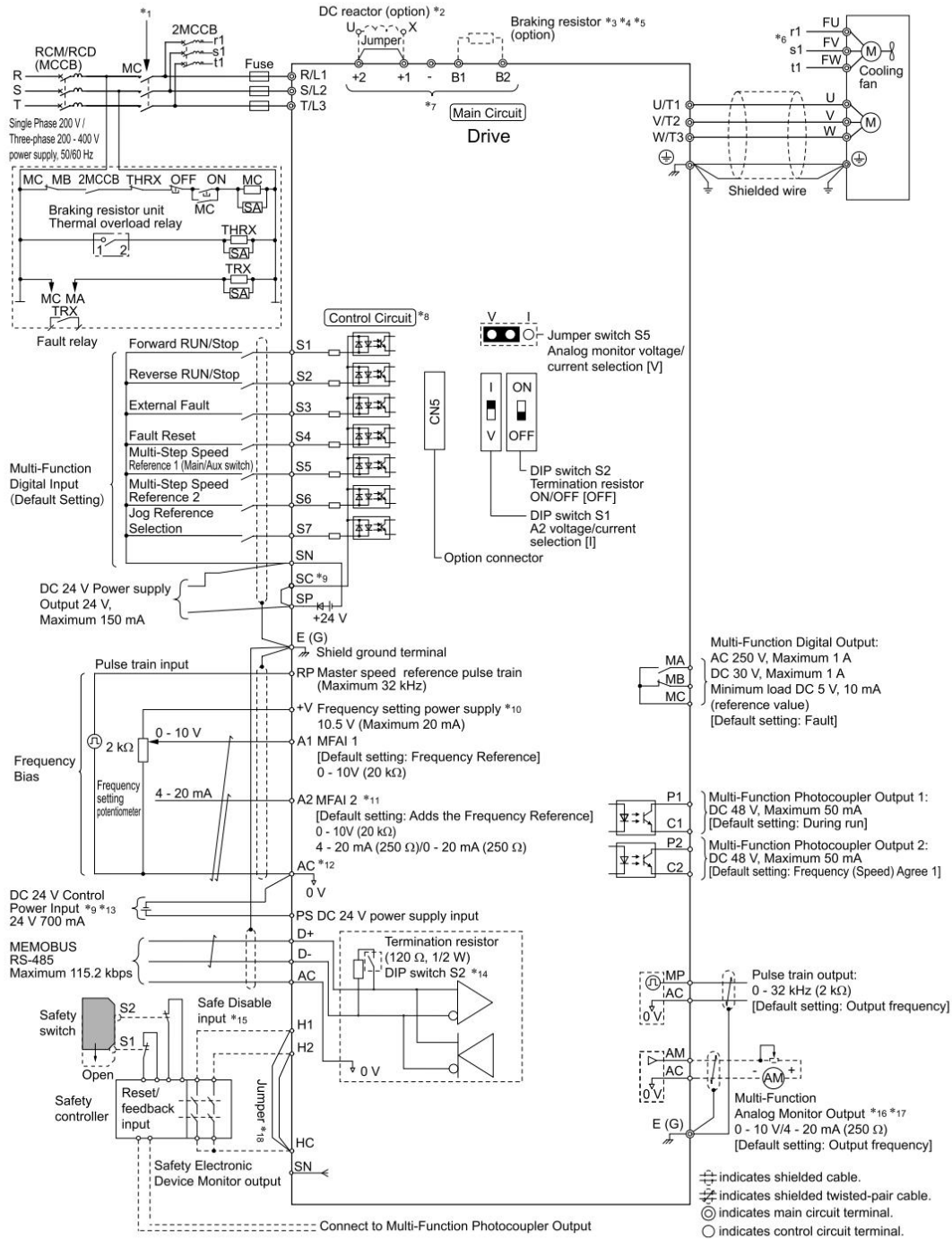
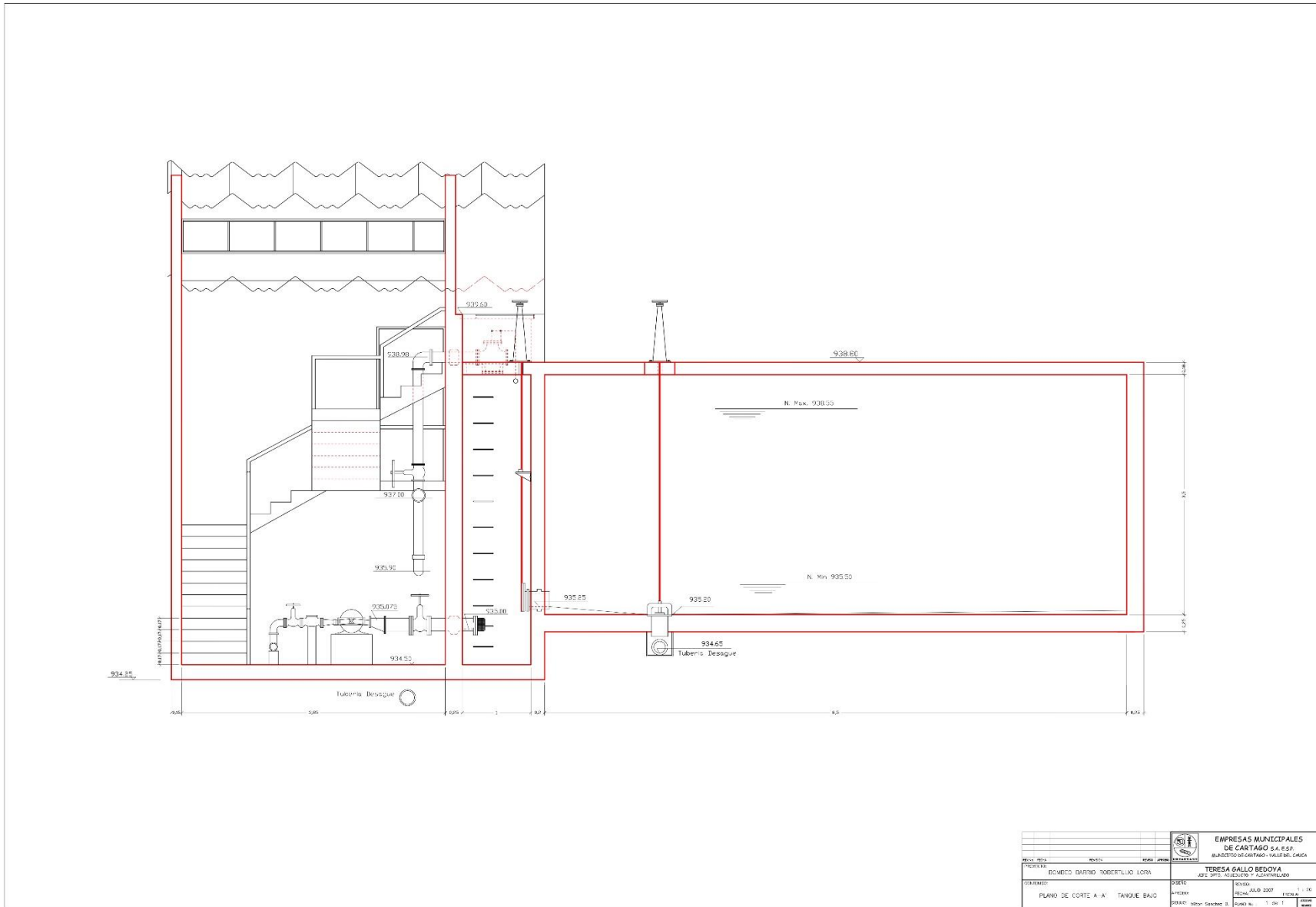


Figure 3.1 Standard Drive Connection Diagram

- *1 Set the wiring sequence to de-energize the drive with the MFDO. If the drive outputs a fault during fault restart when you use the fault restart function, set L5-02 = 1 [Fault Contact at Restart Select = Always Active] to de-energize the drive. Be careful when you use a cut-off sequence. The default setting for L5-02 is 0 [Active Only when Not Restarting].
- *2 When you install a DC reactor, you must remove the jumper between terminals +1 and +2.

Plano de conexión estándar del variador propuesto (YASKAWA GA500).



Planos en vista frontal y lateral de la sala de máquinas y tanque de almacenamiento del barrio Robertulio Lora.