



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

**TEMA: INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE
PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE RECARGA
DEL LANZADOR MÚLTIPLE TATRA**

AUTOR: AGUILAR DARIO

DIRECTOR: ING. OROZCO LUIS MSc

CODIRECTOR: ING. SOTOMAYOR DANNY

SANGOLQUÍ

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

CERTIFICADO

Ing. Luis Orozco MSc

Ing. Danny Sotomayor

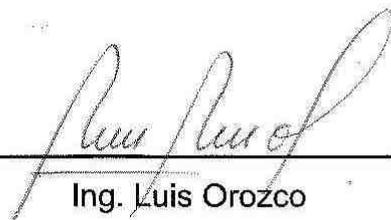
CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “Ingeniería conceptual, básica y de detalle para la automatización del sistema de recarga del lanzador múltiple TATRA”, realizado por Dario Xavier Aguilar Narváez, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de la Fuerzas Armadas – ESPE.

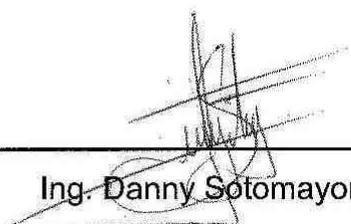
Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Dario Xavier Aguilar Narváez que lo entregue al Ingeniero Luis Orozco, en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Sangolquí, 13 de Mayo de 2015



Ing. Luis Orozco
DIRECTOR



Ing. Danny Sotomayor
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

DARIO XAVIER AGUILAR NARVÁEZ

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “Ingeniería conceptual, básica y de detalle para la automatización del sistema de recarga del lanzador múltiple TATRA”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 13 de Mayo de 2015



Dario Xavier Aguilar Narváez

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

AUTORIZACIÓN

Yo, Dario Xavier Aguilar Narváez

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Ingeniería conceptual, básica y de detalle para la automatización del sistema de recarga del lanzador múltiple TATRA”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 13 de Mayo de 2015



Dario Xavier Aguilar Narváez

DEDICATORIA

La base de todo mi esfuerzo realizado, es inspirada día a día por mis padres, que con su apoyo incondicional, han sido la guía tanto moral como formativa en todo el transcurso de mi vida; Mi última dedicatoria a mi adorado colegio que me enseñó a vivir con un pensamiento “Solo vencíéndote, vencerás”.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la existencia, a mi madre Cecilia por enseñarme a vivir con honor, a mi padre Ramiro por enseñarme la importancia de la disciplina y la humildad, a mi hermana Diana de quien aprendí su constante competitividad, mi hermano Carlos quien me enseñó que el éxito no se logra sin el sacrificio y espíritu de cuerpo, finalmente agradezco a la primera persona en quien pienso cada mañana y quiero siempre, mi vida Carol, quien siempre hace de mí una mejor persona.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
1 CAPÍTULO I GENERALIDADES.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación e Importancia de la Modernización	3
1.3 Alcance de la Modernización del Sistema de Recarga del RM-70	3
1.4 Objetivo	5
1.5 Requerimientos Funcionales – Automatización del Sistema de Recarga del RM-70	6
2 CAPÍTULO II INGENIERÍA CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE RECARGA	7
2.1 Sistemas del vehículo de artillería TATRA	7
2.1.1. Sistema de posicionamiento del paquete guía	9
2.1.2. Sistema de control de disparo	17
2.1.3. Sistema de Recarga.....	21
2.2 Sistema de Recarga del vehículo RM-70	23
2.2.1 Movimientos de la recargadora	23
2.2.2 Espacio de trabajo de la recargadora.....	24
2.2.3 Elementos del sistema de recarga	27
2.3 Estado del sistema de recarga del vehículo	42

3	CAPÍTULO III INGENIERÍA BÁSICA DEL SISTEMA DE RECARGA MODERNIZADO	44
3.1	Estrategia de control.....	45
3.2	Etapa de potencia para los actuadores del Sistema de Recarga	45
3.2.1	Motor DC de la recargadora	47
3.2.2	Electroválvulas	49
3.2.3	Bomba hidráulica.....	50
3.3	Instrumentación para el sistema de recarga.....	51
3.3.1	Limitadores de posición y seguro de movimiento:	52
3.3.2	Sensor para la alineación:	53
3.3.3	Sensor de presión para el circuito hidráulico.....	55
3.3.4	Nivel de aceite en el reservorio	56
3.4	Control desde el tablero principal	57
3.5	Control desde pantalla y diseño de la interfaz gráfica de recarga	60
3.6	Selección del controlador	64
3.7	Comunicación entre el controlador principal de recarga y el implementado	70
3.7.1	Comunicación bidireccional Controlador Recarga-Movimiento:	71
3.7.2	Comunicación unidireccional Controlador Recarga-Disparo:	71
3.7.3	Controlador principal – Controlador implementado	72
3.7.4	Controlador principal – Pantalla –Control implementado..	73
4	CAPÍTULO IV INGENIERÍA DE DETALLE DEL SISTEMA DE RECARGA MODERNIZADO	76

4.1	Detalle de la etapa de potencia	76
4.1.1	Motor DC de la recargadora	77
4.1.2	Electroválvulas	78
4.2	Detalle de la Instrumentación	80
4.2.1	Limitadores de posición:.....	80
4.2.2	Sensores inductivos para la alineación:	82
4.2.3	Manómetro para la bomba hidráulica	84
4.3	Detalle de los controladores	86
4.4	Detalle del controlador respaldo	89
4.5	Detalle del controlador principal e interfaz gráfica.....	90
4.6	Detalle de la red de comunicación entre sistemas	92
4.7	Detalle de los elementos de protección.....	94
5	CAPÍTULO V SIMULACIÓN Y RESULTADOS	97
5.1	Configuración de red previa a la simulación del proceso de recarga	97
5.1.1	PLC (Controladores).....	97
5.1.2	Pantalla	100
5.2	Simulación del proceso de recarga	101
5.3	Evaluación de la Interfaz	109
5.4	Comparación del sistema modernizado versus el sistema anterior	113
6	CONCLUSIONES:	115
7	RECOMENDACIONES:.....	116
8	BIBLIOGRAFÍA	117
9	ANEXO A Cálculos:	119
9.1	ANEXO A.0 Cálculo de la presión en el avance del émbolo:	119

9.2	ANEXO A.1 Efecto del diámetro del cilindro sobre la presión del mismo:	123
9.3	ANEXO A.2 Cálculo de la presión en el retroceso del émbolo:	124
9.4	ANEXO A.3 Cálculo de la potencia de operación de la bomba hidráulica:	124
9.5	ANEXO A.4 Propiedades de líquidos:	131
9.6	ANEXO A.5 Coeficiente de fricción de un fluido sobre una tubería:	132
9.7	ANEXO A.6 Cálculo de la potencia de operación del motor DC:	132
9.8	ANEXO A.7 Cálculo de la potencia de operación de las electroválvulas:	134
9.9	ANEXO A.8 Cálculo de la frecuencia de procesamiento de tres tipos de PLCs:	135
9.10	ANEXO A.9 Cálculo de la potencia de operación de los servomotores de posicionamiento:	140
9.11	ANEXO A.10 Cálculo del tiempo de ejecución del proceso (y mando) modernizado.....	144
10	ANEXO B Código del programa (PLC):	146
10.1	Subir	146
10.2	Bajar	148
10.3	Girar a -90°	149
10.4	Girar a 0°	150
10.5	Recargar.....	151
10.6	Retroceder.....	152
10.7	Limite pasos	153
10.8	Recarga Automática	153

10.9	Condición de Falla.....	154
10.10	Relación de variables	155
11	ANEXO C Diagramas Generales:	158
11.1	Controlador principal	159
11.2	Controlador respaldo	160
11.3	Ubicación de los limitadores de posición.....	161
11.4	Interfaz gráfica de recarga.....	162
11.5	Protección a las fuentes de alimentación	163

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Prototipo de RM-70 a cargo del CICTE	2
Figura 2-1.	Vehículo RM-70 dividido en secciones	7
Figura 2-2.	Vehículo RM-70 dividido en sistemas.....	8
Figura 2-3.	Control del posicionamiento del paquete guía	9
Figura 2-4.	Elementos del sistema de posicionamiento del paquete guía .	10
Figura 2-5.	Paquete Guía del RM-70	10
Figura 2-6.	Servo driver (Izquierda), servo motor (Centro), y reductor (Derecha) de elevación del RM-70.....	11
Figura 2-7.	Conexión del Servo Drive a su respectivo Servo Motor (1-3; 2-4).....	13
Figura 2-8.	Ventana de Posicionamiento del Paquete Guía del RM-70	14
Figura 2-9.	Generador STAMFORD para los controladores de posicionamiento	16
Figura 2-10.	Control del disparo de cohetes	17
Figura 2-11.	Elementos del sistema de disparo de cohetes del RM-70	17
Figura 2-12.	Mecanismo de disparo de cohetes del RM-70	18
Figura 2-13.	Tambor rotativo de la caja de disparo de cohetes del RM-70	18
Figura 2-14.	Ventana de Disparo de cohetes del Paquete Guía RM-70	20

Figura 2-15. Secuencia de disparo indicada por el fabricante.....	21
Figura 2-16. Ventana de Recarga de cohetes RM-70.....	22
Figura 2-17. Sistema de referencia (vista lateral) de la recargadora del RM-70	23
Figura 2-18. Sistema de referencia (vista superior) de la recargadora del RM-70.....	24
Figura 2-19. Posición Inicial y Posición Abajo (IV) de la recargadora del RM-70	25
Figura 2-20. Posición Arriba (I) y Posición 0° (III) de la recargadora del RM-70	25
Figura 2-21. Posición -90° (II) de la recargadora del RM-70.....	26
Figura 2-22. Recargadora del RM-70 lista para la recarga, y Posición Abajo (VIII)	26
Figura 2-23. Posición Arriba (V) y Posición Retroceso (VII) de la recargadora del RM-70	27
Figura 2-24. Posición Recarga (VI) de la recargadora del RM-70.....	27
Figura 2-25. Sistema de Recarga del Vehículo RM-70: 2. Sistema hidráulico: 2a. Cilindros hidráulicos, 2b. Electroválvulas, 2c Reservorio de aceite 3. Sistema eléctrico: Motor, Caja Reductora, Engranajes, Cadenas.....	28
Figura 2-26. Sistema hidráulico de la recargadora.....	29
Figura 2-27. Cilindros hidráulicos del Sistema de Recarga: 1. Cilindro de elevación (a. avance, b. regreso), 2. Cilindro de elevación, 3. Cilindro de giro	29
Figura 2-28. Articulación para elevación de la recargadora	30
Figura 2-29. Caja hidráulica de transmisión de movimiento para giro.....	30
Figura 2-30. Válvulas 4/3 con activación por solenoide del Sistema de Recarga	31
Figura 2-31. Esquema de funcionamiento de las válvulas del sistema de recarga.....	31
Figura 2-32. Reservorio de aceite del sistema de recarga.....	32
Figura 2-33. Bomba hidráulica mecánica para el Sistema de Recarga.....	33

Figura 2-34. Sistema eléctrico de la recargadora.....	33
Figura 2-35. Motor DC Magneton de la recargadora.....	34
Figura 2-36. Engranés y cadena de transmisión del sistema de recarga...	34
Figura 2-37. Motor DC (ausente) conectado a la caja de transmisión de potencia	35
Figura 2-38. Caja de transmisión de potencia conectada a cadena tipo rodillo	35
Figura 2-39. Recargadora del Vehículo RM-70: 1. Marco delantero, 2. Marco trasero, 3. Cargador (Puntas).....	36
Figura 2-40. Limitador de posición C23 en el Sistema de Recarga	37
Figura 2-41. Seguro tipo palanca de la recargadora.....	38
Figura 2-42. Seguro tipo garra de la recargadora	38
Figura 2-43. Tablero de mando para el proceso de recarga de cohetes....	39
Figura 3-1. Esquema de bloques de control de la unidad de carga (recargadora)	45
Figura 3-2. Configuraciones para sentidos de giro del motor DC: a) giro horario; b) giro anti-horario	48
Figura 3-3. Circuito de potencia para giro horario y anti-horario del motor	49
Figura 3-4. Circuito de potencia para activación de las electroválvulas	49
Figura 3-5. Posibles fuentes de energía para la bomba hidráulica de accionamiento eléctrico	50
Figura 3-6. Esquema de mandos en el tablero del vehículo	58
Figura 3-7. Diagrama de flujo para el mando desde el tablero principal	59
Figura 3-8. Diagrama de flujo alternativo para el mando desde el tablero principal	60
Figura 3-9. Esquema de mandos en la pantalla del vehículo (pasos).....	61
Figura 3-10. Diagrama de flujo para el mando desde el pantalla (pasos) ..	62
Figura 3-11. Esquema de mandos en la pantalla del vehículo (movimientos)	63
Figura 3-12. Diagrama de flujo para el mando desde el pantalla (movimientos).....	63
Figura 3-13. Diagrama de control del sistema de recarga.....	65

Figura 3-14. Controlador principal para la Recarga	69
Figura 3-15. Diagrama de comunicación entre: Controlador para la Recarga y Controlador Disparo-Movimiento	70
Figura 3-16. Comunicación Pantalla - Sistema de Control Implementado .	72
Figura 3-17. Red de Comunicación: SC Implementado - SC recargadora.	72
Figura 3-18. Red de Comunicación: SC Implementado - Pantalla - SC recargadora.....	73
Figura 3-19. Red de Comunicación: a (Verde), b (Azul), c (Negro).....	74
Figura 4-1. Contactor original para el motor DC.....	77
Figura 4-2. Alambrado del motor DC (para giro horario y anti-horario)	77
Figura 4-3. Módulo F2-08TRS para las electroválvulas	79
Figura 4-4. Alambrado de las electroválvulas	79
Figura 4-5. Limitadores de posición originales	80
Figura 4-6. Limitadores de posición hacia el control	81
Figura 4-7. Sensor inductivo PNM6-AN-4H para alineación	82
Figura 4-8. Sensores inductivos hacia el control.....	83
Figura 4-9. Sensor MPS25-1C-P1000D como interruptor de presión	84
Figura 4-10. Interruptor de presión hacia el control.....	86
Figura 4-11. Relevadores 700-TBS24 para el controlador respaldo	87
Figura 4-12. PLC Direct Logic 205 Koyo como controlador principal	88
Figura 4-13. Controlador respaldo	89
Figura 4-14. Controlador principal.....	90
Figura 4-15. Pantalla táctil EA7-T12C como panel de control.....	91
Figura 4-16. Red de Comunicación en estrella, a través de protocolo Ethernet (a) Pantalla Local, (b) Pantalla a distancia (c) Controlador paquete guía, (d) Controlador recargadora	93
Figura 4-17. Relé de sobrecarga RTD 180-18000 (izquierda) y contactor GH15NT-3-00B (derecha) para el motor DC.....	95
Figura 4-18. Protección del Motor DC.....	95
Figura 5-1. Programa "PLC RECARGADORA 2015" en ProjectBinder	98
Figura 5-2. Habilitación de la comunicación Ethernet modbus (esclavo) ...	98
Figura 5-3. Think & Do ESP.....	99

Figura 5-4. Configuración IP del PLC.....	99
Figura 5-5. C-more Programming Software "HMI TATRA 2014".....	100
Figura 5-6. "Panel Manager" de HMI TATRA 2014.....	101
Figura 5-7. Configuración IP de Pantalla.....	101
Figura 5-8. Ventana Principal de la Pantalla en el RM-70.....	102
Figura 5-9. Posición Inicial para el proceso de carga.....	103
Figura 5-10. Ejecución del paso I "LEVANTAR"	103
Figura 5-11. Finalización del paso I "LEVANTAR"	104
Figura 5-12. Ejecución del paso II "ROTAR 90°"	104
Figura 5-13. Finalización del paso II "ROTAR 90°"	105
Figura 5-14. Ejecución del paso III "RETORNAR DEL GIRO"	105
Figura 5-15. Finalización del paso III "RETORNAR DEL GIRO".....	106
Figura 5-16. Ejecución del paso IV "DEJAR CAER"	106
Figura 5-17. Finalización del paso IV "DEJAR CAER"	107
Figura 5-18. Posición Inicial para el proceso de recarga automática	107
Figura 5-19. Ejecución del paso V "LEVANTAR LA CARGA"	108
Figura 5-20. Ejecución del paso VI "AVANCE PUNTAS".....	108
Figura 5-21. Ejecución del paso VII "ATRÁS PUNTAS".....	108
Figura 5-22. Ejecución del paso VIII "DEJAR CAER"	109
Figura 5-23. Finalización del paso VIII "DEJAR CAER"	109
Figura 9-1. Corte transversal/frontal del cilindro hidráulico para subir/bajar la recargadora	119
Figura 9-2. Diagrama del cuerpo libre para subida de la recargadora	120
Figura 9-3. Diagrama del cuerpo libre para bajada de la recargadora	121
Figura 9-4. Corte transversal/frontal del cilindro hidráulico para giro de la recargadora.....	122
Figura 9-5. Diagrama del cuerpo libre para avance/retroceso de la recargadora	133
Figura 10-1. Subrutina SUBIR.....	147
Figura 10-2. Subrutina Bajar	148
Figura 10-3. Subrutina Girar a -90°	149
Figura 10-4. Subrutina Girar a 0°	150

Figura 10-5. Subrutina Recargar	151
Figura 10-6. Subrutina Retroceder	152
Figura 10-7. Subrutina Limite pasos.....	153
Figura 10-8. Subrutina Recarga Automática	154
Figura 10-9. Subrutina Condición de Falla	155
Figura 11-1. Sistema de control principal	159
Figura 11-2. Sistema de control respaldo.....	160
Figura 11-3. Ubicación de limitadores de posición en el sistema de recarga	161
Figura 11-4. Interfaz gráfica de recarga de cohetes del RM-70	162
Figura 11-5. Protección: Fuente del PLC, pantalla y conmutador	163

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Características mecánicas del Servo Motor SVM-230	11
Tabla 2-2. Máximo ángulo de tiro del paquete guía	12
Tabla 2-3. Características eléctricas del Servo Drive SVA-2300	12
Tabla 2-4. Características de la pantalla táctil para posicionamiento del paquete guía	13
Tabla 2-5. Características del controlador del paquete guía	15
Tabla 2-6. Convertidor DC –DC en el vehículo RM-70.....	16
Tabla 2-7. Generador Trifásico sin escobillas UCI del Vehículo	16
Tabla 2-8. Posiciones de la recargadora según el sistema de coordenadas	24
Tabla 2-9. Sensores de posición de la recargadora.....	37
Tabla 2-10. Estado de los elementos del sistema de recarga del RM-70 ..	42
Tabla 3-1. Consumo de corriente de los actuadores del Sistema de Recarga	46
Tabla 3-2. Voltajes y Corrientes de carga DC de dispositivos electrónicos de potencia	46
Tabla 3-3. Ventajas y desventajas de la fuente de energía para la bomba hidráulica.....	51

Tabla 3-4. Limitadores de posición, para medir posición y rotación de la recargadora.....	52
Tabla 3-5. Posiciones Recargadora - Paquete Guía para el proceso de recarga.....	53
Tabla 3-6. Sensores para alineación recargadora – paquete guía.....	54
Tabla 3-7. Sensores de presión para la tubería del sistema de recarga	55
Tabla 3-8. Acción de Interruptores en el tablero del vehículo	58
Tabla 3-9. Prioridad de decisión del tablero sobre la pantalla.....	59
Tabla 3-10. Acción del Indicador principal de pantalla PN3	61
Tabla 3-11. Parámetros de selección para el control por tablero	66
Tabla 3-12. Parámetros de selección para el control por pantalla	68
Tabla 3-13. Selección de gama del PLC	69
Tabla 3-14. Datos inter-sistemas requeridos para el proceso de recarga..	71
Tabla 4-1. Limitadores de posición de la recargadora.....	81
Tabla 4-2. Comparación de requerimientos del sensor inductivo con PNM6-AP-4H	82
Tabla 4-3. Comparación de requerimientos del interruptor de presión con MPS25-1C-P1000D.....	85
Tabla 4-4. Comparación de requerimientos de relevadores con Allen Bradley 700-TBS24.....	87
Tabla 4-5. Comparación de requerimientos del controlador principal con PLC Direct Logic (Koyo).....	88
Tabla 4-6. Comparación de requerimientos de la pantalla táctil con EA7-T12C	91
Tabla 4-7. Direcciones IP de la red de comunicación en el RM-70.....	94
Tabla 5-1. Evaluación de la ventana de recarga según la guía GEDIS ...	110
Tabla 5-2. Puntos de mejora sobre la ventana de recarga según la guía GEDIS	112
Tabla 5-3. Comparación del sistema modernizado vs sistema anterior ...	113
Tabla 5-4. Comparación de tiempos mando y proceso de recarga (sistema actual vs modernizado)	114
Tabla 9-1. Singularidades en el sistema hidráulico para la recargadora..	130

Tabla 10-1. Activación de actuadores de acuerdo a medición de sensores	146
Tabla 10-2. Variables I/O del controlador principal DEV002	156
Tabla 10-3. Relación de variables entre: controlador principal (izquierda), y controlador implementado (derecha).....	156
Tabla 10-4. Variables de memoria del controlador principal DEV002	157
Tabla 10-5. Variables de memoria interna de pantalla <INTERNAL>	158

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Presión provocada por una fuerza normal sobre una superficie plana.....	120
Ecuación 2. Fuerza resultante para estado de reposo o MRU.....	120
Ecuación 3. Consumo de potencia de una bomba hidráulica.....	124
Ecuación 4. Caudal provocado por un fluido normal a una sección plana	124
Ecuación 5. Principio de Bernoulli - Hidrodinámica.....	125
Ecuación 6. Altura de carga de un sistema hidráulico.....	127
Ecuación 7. Altura de pérdidas por fricción de un fluido sobre una tubería.....	127
Ecuación 8. Factor de fricción de un fluido laminar sobre una tubería.....	127
Ecuación 9. Altura de pérdidas por singularidades de una tubería	129
Ecuación 10. Caída de tensión de tensión en una instalación eléctrica...	135
Ecuación 11. Tiempo de SCAN en un procesador.....	136
Ecuación 12. Frecuencia de ejecución de código en un procesador	136
Ecuación 13. Potencia aparente de un circuito trifásico.....	140
Ecuación 14. Potencia transmitida por un eje	140
Ecuación 15. Esfuerzo tangencial sobre un engrane	141
Ecuación 16. Longitud de arco de una circunferencia.....	142
Ecuación 17. Segunda ley de Hick.....	144

RESUMEN

En el siguiente proyecto se realiza el estudio para la automatización del sistema de recarga del Lanzador Múltiple TATRA, basándose en el prototipo *RM-70* a cargo del CICTE; este estudio se forma de la Ingeniería básica y de detalle, de un sistema de control automático para realizar la recarga de 40 cohetes de 122 [mm] en un dispositivo de disparo (paquete guía), este sistema de control automático (de la recargadora) se integra al sistema de control ya implementado en el paquete guía. Para controlar el proceso de recarga, se manipula la velocidad de un motor DC *Magneton*, y el flujo en dos electroválvulas, y se mide la posición de la recargadora, a través de siete limitadores de posición (originales del vehículo), y se mide tres posiciones del paquete guía, a través de tres sensores inductivos *PNM6-AN-4H* (se adiciona un interruptor de presión *MPS25-1C-P1000D* para garantizar una correcta recarga). Debido a que el *RM-70* se expone a condiciones ambientales adversas, necesita un respaldo en caso de falla del control principal, lo que se logra dotando al sistema de recarga de un controlador de respaldo (basado en lógica de contactos *Allen Bradley 700-TBS24*) que funciona en paralelo al controlador principal (basado en lógica programada *PLC Direct Logic 205*). Finalmente se realiza la simulación del controlador principal sobre el vehículo, para evaluar y comparar el proceso de recarga de este proyecto vs el anterior a este proyecto.

Palabras clave: RM-70 LANZADOR MÚLTIPLE TATRA, RECARGADORA, PAQUETE GUÍA, COHETES DE 122 [mm], CICTE.

ABSTRACT

In this project, it is made the research to automatize the loading device of the RM-70 Multiple Rocket Launcher, based on the CICTE's prototype; the research consists on a basic and detailed engineering of an automatic control system, which load 40 bullet shells on the gun turret, and is integrated on the actual control system. The automatic control manipulates the *magneton* motor speed, and the pipeline flow through valves, and it measures the loading unit position with seven limit switches, and measures three positions of the gun turret with three *PNM6-AN-4H* inductive sensors (the pressure on the pipeline is measured through a *MPS25-1C-P1000D* pressure switch, to guarantee loading); due to the operation over an adverse environment, the RM-70 needs a loading backup system in case the main controller fails, this is solved by a backup controller (*Allen Bradley 700-TBS24* relay logic), who works in parallel to the main controller (PLC Direct Logic 205). At the end, the simulation is made over the RM-70, to evaluate and compare the loading on this project vs the loading on the last project.

Keywords: RM-70 MULTIPLE ROCKET LAUNCHER, LOADING DEVICE, GUN TURRET, 122 [mm] ROCKETS, CICTE.

1 CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

En 1898 la empresa checa TATRA se especializó en la fabricación de camiones todo terreno y ha contribuido con la modificación de sus vehículos para fines militares; uno de ellos es el Lanzador Múltiple TATRA (RM-70), un camión todo terreno desarrollado en 1972 en Checoslovaquia dotado de un sistema de carga¹ de cohetes y un sistema de disparo de cohetes; después de la desintegración de Checoslovaquia en 1993 el vehículo de artillería fue vendido a varias naciones entre ellas Ecuador.

Su homólogo BM-21 aportó al triunfo en la Guerra del Cenepa en 1995, por esto en el año 2008 entró en ejecución al Ecuador el proyecto de modernización del Lanzador Múltiple TATRA, a través del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Ejército (CICTE), con la propuesta de implementación de cuatro fases:

- Control de tiro
- Posicionamiento automático
- Recarga
- Telemetría

Todas las fases mencionadas conforman la totalidad de la modernización del RM-70; para esto el CICTE se encuentra a cargo de un vehículo, utilizado como prototipo para la modernización, como se muestra en la Figura 1-1.

¹ Conocido de aquí en adelante como "Sistema de Recarga", por convencionalismo.



Figura 1-1. Prototipo de RM-70 a cargo del CICTE

En el año 2008, posterior al desarrollo de la primera fase, se presentaron inconvenientes en el sistema de disparo, entrando el proyecto en una etapa de análisis, reparación y configuración.

En el año 2011 se presentaron los primeros resultados de mejora en los ejercicios realizados en el sector de Playas de la Provincia del Guayas; desde este año el proyecto se detuvo por situaciones económicas, impidiéndose continuar con el desarrollo de las siguientes fases.

En el año 2014 se retoma el proyecto y se realizan cambios en la parte mecánica como prioridad para la ejecución de ejercicios militares, se pone en funcionamiento el sistema y se ejecuta el tiro de 200 cohetes en abril del mismo año, de esta forma se comprobó que la primera fase implementada en el RM-70 se encontraba operable, situación por la cual se decide continuar con la ejecución de las siguientes dos fases a través del CICTE.

Desde abril del año 2014 se considera al vehículo operable y el CICTE se encuentra a cargo de la modernización del sistema de recarga.

Actualmente el RM-70 tiene implementado el control digital de tiro y movimiento automático del paquete guía, sin embargo el sistema de recarga se opera de modo manual y desde el tablero, tomando 8 pasos (y

media hora aproximadamente) para la transferencia de los cohetes hacia el sistema de disparo, el modo automático se encuentra inoperable, y la seguridad es de forma visual.

1.2 Justificación e Importancia de la Modernización

El BM-21, homólogo del RM-70, contribuyó en la victoria de 1995, sin embargo el BM-21 carece de un sistema de recarga, contrario a esto el RM-70 tiene la capacidad de transferir 40 cohetes al paquete guía para realizar un segundo disparo, por ello es esencial lograr una modernización que garantice una correcta recarga.

Las principales razones de la modernización del sistema de recarga son brindar aporte a la seguridad aumentando sensores, y realizar un análisis para el modo de operación automático que logre la disminución del tiempo de operación de la recarga, y con ello disminución de realización de un segundo disparo.

Los análisis realizados sobre el funcionamiento del sistema de recarga modernizado, permiten al CICTE comprobar su operatividad y conocer la factibilidad de implementar este proyecto a gran escala.

1.3 Alcance de la Modernización del Sistema de Recarga del RM-70

El actual proyecto moderniza el sistema de recarga de cohetes del Lanzador Múltiple TATRA RM-70, mediante la aplicación de sistemas de control automático que permiten operar la recargadora desde el tablero (Figura 2-43) y la pantalla ya instalados, basados en los requerimientos funcionales y de implementación del sistema.

Como parte inicial se investiga sobre el estado actual tanto mecánico como eléctrico del sistema de recarga del vehículo.

La mejora del sistema de recarga involucra el diseño de un sistema de control, que funciona en paralelo al sistema de recarga desde el tablero; si el sistema modernizado queda inutilizado por condiciones adversas, como

respaldo puede operarse la recargadora desde su tablero como se lo hacía anterior a este proyecto.

El sistema de control se basa en la aplicación de:

- Un modo de operación manual que permite la maniobra paso-a-paso de la recargadora.
- Y un modo de operación automático que integra algunos de los pasos del modo manual, en ciclos diseñados para cumplir con:
 - seguridad
 - disminución en el tiempo de recarga con respecto al sistema anterior al proyecto.

Para garantizar una correcta recarga se determina los sensores adecuados que permiten la alineación de la recargadora con el paquete guía como se muestra en la Tabla 3-5.

En caso que no se encuentren correctamente alineados, el sistema de recarga modernizado alerta este inconveniente, requiriéndose una acción del operador para corregirlo;

Además este sistema modernizado informa acerca de la presión suficiente provocada por la bomba hidráulica, a fin que la recargadora pueda ejecutar los movimientos, caso contrario se debe revisar el estado de la bomba manualmente.

En la pantalla se incluye la interfaz gráfica (sus diseños consisten únicamente en software) para:

- El modo manual, que consta de 8 posibles pasos limitados de acuerdo a la ubicación de la recargadora, y se incluye la posibilidad de abortar la ejecución de cualquiera de estos pasos. Esta pantalla mostrará el modo de operación, y el movimiento que se ejecuta en ese momento.
- El modo automático, que incluye los mandos e indicadores del modo manual, con la diferencia que se integran algunos de los pasos del

modo manual en ciclos, para permitir operar la recargadora por etapas

La simulación se realiza directamente sobre el vehículo, sin embargo no se simula el funcionamiento en su totalidad debido a que no se dispone de todos los sensores necesarios para la modernización del sistema de recarga ni de su instalación. Se utiliza una pantalla² como simulación de un mando a distancia y un sistema de control³ con características similares a los ya implementados en el sistema de disparo. Esta simulación permite comparar el proceso de recarga del sistema modernizado versus el sistema anterior al proyecto. No se simula el funcionamiento desde el tablero actual.

Al final se entrega planos eléctricos, diagramas de flujo de automatización del proceso, y manual de usuario correspondiente a la operatividad; y se entrega de manera documentada los estudios realizados sobre el sistema de recarga con toda la ingeniería básica y de detalle, incluyendo el diseño de la etapa de potencia y el dimensionamiento de los elementos de protección.

1.4 Objetivo

La modernización del sistema de recarga del RM-70 lleva al objetivo general de este proyecto de grado:

Realizar la ingeniería conceptual, básica y de detalle para la automatización del sistema de recarga del Lanzador Múltiple TATRA (RM-70), mediante la simulación sobre el prototipo a cargo del CICTE para justificar su implementación a gran escala.

² Pantalla Automation Direct de 12 pulgadas (EA7-T12C)

³ PLC Direct Logic 205 (Koyo), con CPU H2-WinPLC3

1.5 Requerimientos Funcionales – Automatización del Sistema de Recarga del RM-70

Para lograr este objetivo general se cumple con requerimientos funcionales para la automatización, traducidos a objetivos técnicos a continuación.

- Proponer un respaldo en el proceso de recarga, mediante el funcionamiento en paralelo del sistema modernizado con el sistema anterior a este proyecto, para mantener la maniobrabilidad de la recargadora, en caso de falla del sistema modernizado debido a condiciones adversas.
- Garantizar una correcta recarga, identificando posibles causas de fallo, a través los sensores ya instalados sobre el vehículo, y sensores adicionales.
- Integrar los modos de operación manual y automático de la recargadora en el sistema de control ya implementado, para recibir y enviar datos útiles en el proceso de recarga, mediante la utilización de una red de comunicación.
- Comparar el proceso de recarga del sistema modernizado versus el sistema anterior a este proyecto, mediante una evaluación de la interfaz y el controlador, además de una estimación de tiempos de ejecución del proceso, para decidir su implementación.

2 CAPÍTULO II

INGENIERÍA CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE RECARGA

2.1 Sistemas del vehículo de artillería TATRA

Se puede dividir al vehículo de artillería TATRA (RM-70) en tres secciones comenzando desde la cabina, unidad de carga⁴ (recargadora), y paquete guía, como se ve en la Figura 2-1.



Figura 2-1. Vehículo RM-70 dividido en secciones

En la cabina se encuentran los indicadores y mandos para la recarga, posicionamiento y disparo; en la parte posterior a la cabina se ubica la recargadora, con espacio suficiente para almacenar hasta 40 cohetes de 122 [mm]; y en el extremo final del vehículo se encuentra el paquete guía con los mecanismos necesarios para moverse, y disparar hasta 40 cohetes de 122 [mm].

Además el vehículo posee un dispositivo de control para el ajuste de la presión de aire sobre los neumáticos, y una topadora⁵ que le permite quitar obstáculos.

⁴ Conocido de ahora en adelante como “recargadora”, por convencionalismo.

⁵ Similar al extremo de una excavadora, utilizada principalmente para preparar la posición de disparo y remover obstáculos.

El funcionamiento del RM-70 se compone de tres procesos:

- Posicionamiento de paquete guía⁶
- Control de disparo⁷
- Recarga de cohetes⁸

Estos tres procesos involucran el procedimiento utilizado para fines militares, y se basan en el funcionamiento de los siguientes sistemas (Figura 2-2) del RM-70:

1. Sistema de generación eléctrica para el posicionamiento
2. Sistema de posicionamiento del paquete guía
3. Sistema de control de disparo (por la parte posterior)
4. Sistema de recarga de cohetes



Figura 2-2. Vehículo RM-70 dividido en sistemas

El modo de operación de los sistemas del RM-70 se resumen en:

⁶ Actualmente no se encuentra implementado el posicionamiento automático, en su lugar existe el movimiento comandado desde pantalla

⁷ Existe el control digital de tiro para los 40 cohetes.

⁸ Propósito de este proyecto de grado

El sistema de recarga equipa al vehículo con 40 cohetes en el paquete guía, posterior a su equipamiento se puede cargar 40 cohetes extras en la recargadora como reserva para un segundo disparo. El paquete guía se debe posicionar automáticamente para alcanzar el objetivo seleccionado, de esta manera el vehículo se encuentra listo para realizar el disparo de los cohetes en una secuencias predeterminada por el fabricante, hasta un alcance de 20 [Km].

A continuación se explica el modo de funcionamiento de cada sistema, y se detallan sus elementos.

2.1.1. Sistema de posicionamiento del paquete guía

El sistema de posicionamiento se compone de movimientos de elevación y dirección; Los ángulos de dirección y elevación se controlan indirectamente mediante un número de revoluciones del motor, que se ingresa a través de la pantalla en la cabina. En el diagrama de bloques de la Figura 2-3 se muestra el control de posición para elevación y dirección.

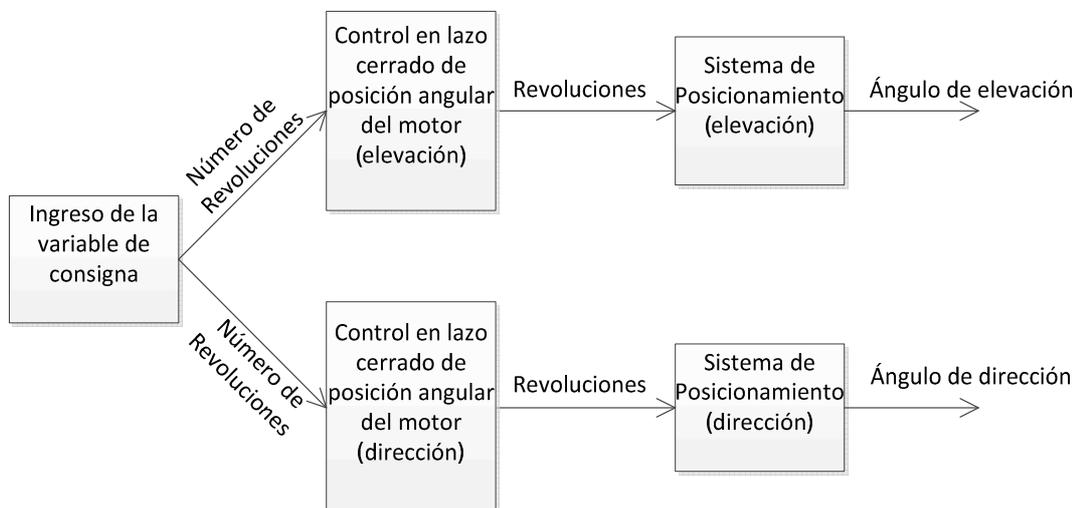


Figura 2-3. Control del posicionamiento del paquete guía

En la Figura 2-4 se muestran los elementos que componen cada bloque.

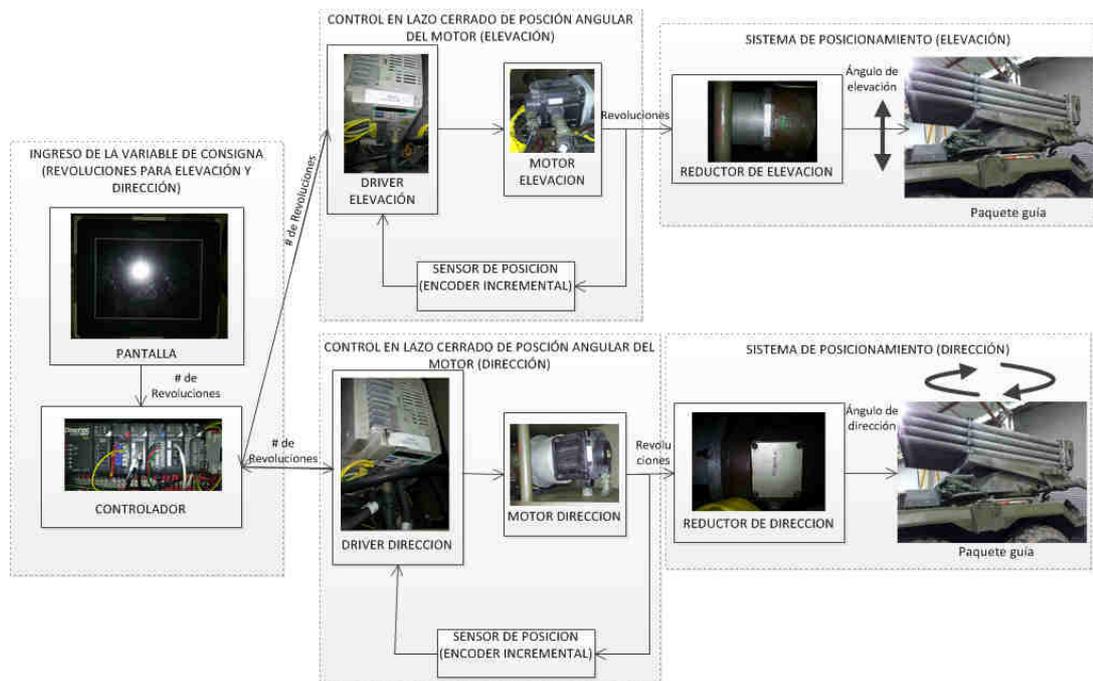


Figura 2-4. Elementos del sistema de posicionamiento del paquete guía

La variable de consigna “revoluciones” se transmite al PLC y luego al driver vía protocolo RS232; el driver es el encargado de realizar el control en lazo cerrado de revoluciones de motor, las que generan los ángulos de dirección y elevación.

A continuación se detalla cada uno de los componentes del sistema de posicionamiento del paquete guía.

Paquete Guía:

El paquete guía (Figura 2-5) consiste de una matriz de tubos de 4 columnas por 10 filas, sostenidos mediante una arco.



Figura 2-5. Paquete Guía del RM-70

En la parte inferior del paquete se encuentran los reductores para elevación y dirección movidos por dos **Servo Motor SVM-230** (Tabla 2-1); estos servomotores son controlados por dos **Servo Drive SVA-2300** (Tabla 2-3). En la Figura 2-6 se puede ver los componentes encargados del movimiento del paquete guía (para elevación).



Figura 2-6. Servo driver (Izquierda), servo motor (Centro), y reductor (Derecha) de elevación del RM-70

Servo Motor:

El Servo Motor posee un transductor tipo encoder en cuadratura⁹ adjunto que brinda la información de velocidad actual del eje del motor, así el Servo Drive puede ajustar la frecuencia de voltaje al motor para lograr la velocidad deseada. El Servo Drive puede controlar el torque entregado al motor ajustando la corriente suministrada al motor.

Tabla 2-1.
Características mecánicas del Servo Motor SVM-230

Servo Motor SVM-230	
Torque Máximo	35.8 [N.m]
Velocidad Máxima	3000 [rpm]
Relación Torque Corriente	14.3[N.m]/17.4[A]

La relación de la caja reductora es, 2110 revoluciones del Servo Motor equivalen a 3000 milésimas del paquete guía, y el máximo ángulo de tiro se muestra en la Tabla 2-2.

⁹ Convierte la posición angular del eje en un código digital; dos sensores adicionales le permiten saber en qué dirección está girando (cuadratura).

Tabla 2-2.
Máximo ángulo de tiro del paquete guía

Máximo ángulo de tiro [mil]	
Dirección	3000
Elevación	1167

Servo Drive:

En la página 213 de Automation Direct capítulo 4-2 (Direct, 2014) se puede ver la configuración del Servo Drive SVA-2300 para su operación sobre el equipo; también se puede utilizar el software SureServo PRO 3.1.0 (firmware 2.1) para configurar sus parámetros por transmisión serial RS232.

- Parámetros de operación: P1-15, P1-16, P1-31, P1-33, P1-34, P1-35, P1-36, P2-36
- Parámetros de control: P1-01, P2-10, P2-13, P2-14, P2-1, P2-17
- Parámetros de comunicación: P3-XX

Las características eléctricas del Servo Drive se muestran en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3.
Características eléctricas del Servo Drive SVA-2300

Servo Drive SVA-2300	
Voltaje de alimentación	Trifásico 230 [V]; 50-60 [Hz]
Corriente de entrada	Trifásico 13.6 [A] – 3 [KW]
Rango de Velocidad	0-5000 [rpm]
Resolución	Sensor 10 000 [pulsos/rev]
Encoder Incremental	
Interface de comunicación utilizada	Modbus RTU hasta 115.2 [Kbps]

Tanto el Servo Motor SVM-230 como el Servo Drive SVA-2300 obedecen a las normas CE de EMC (Electromagnetic compatibility) y UL (Underwriters Laboratories). El Servo Drive y El Servo Motor se encuentran conectados como muestra la Figura 2-7.



Figura 2-7. Conexión del Servo Drive a su respectivo Servo Motor (1-3; 2-4)

Pantalla

Existe una ventana para el manejo del paquete guía, además de la visualización del estado del Sistema de Posicionamiento. Esta ventana se encuentra en una pantalla táctil de 12" y se comunica de forma serial hacia el PLC, sus características se muestran en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4.
Características de la pantalla táctil
para posicionamiento del paquete guía

Pantalla Táctil	
Marca	AutomationDirect (EA7-T12C)
Tamaño	12 [in]
Comunicación con el PLC	Serial: Protocolo RS232C Conector DB15 tipo macho

La ventana que permite estos movimientos se muestra en la Figura 2-8.

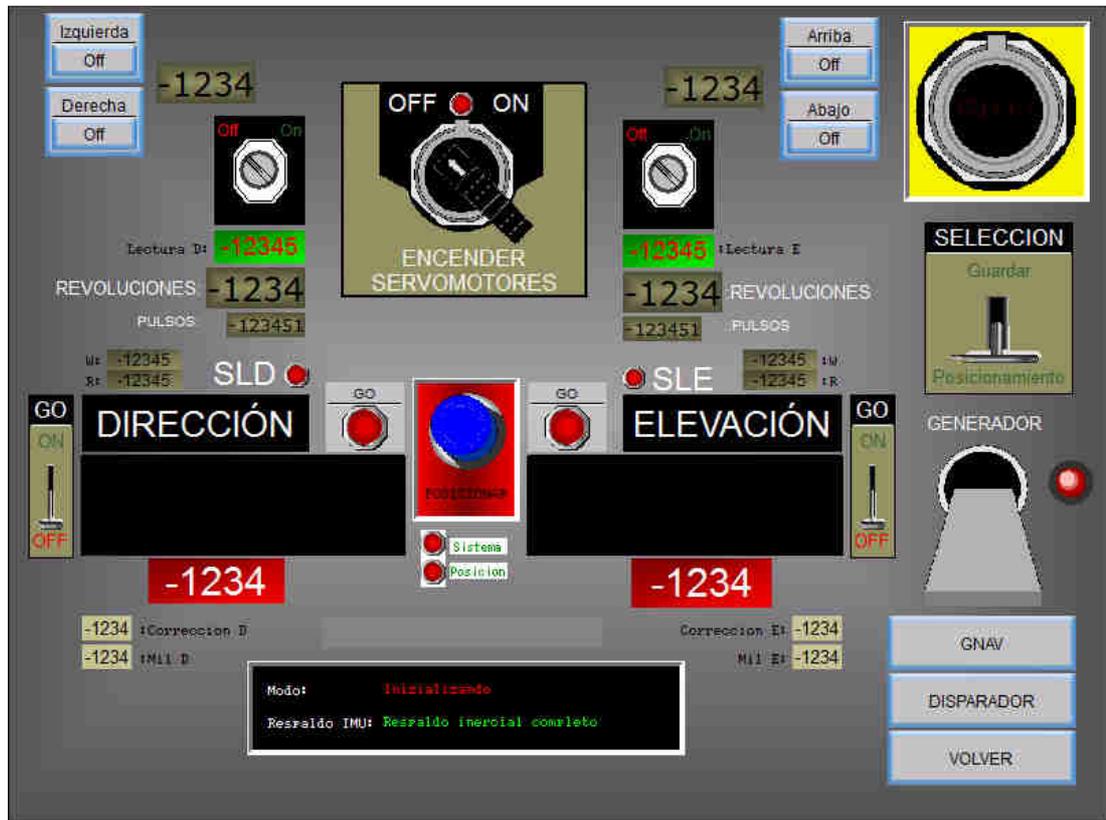


Figura 2-8. Ventana de Posicionamiento del Paquete Guía del RM-70

Los pasos a ejecutarse sobre la ventana son:

1. Se enciende el generador
2. Se visualiza el estado de los seguros
3. Se enciende los Servo Motores

Se permiten los movimientos manuales del paquete guía a través de los botones azules (Izquierda, Derecha, Arriba, Abajo); y se muestra el valor del Encoder correspondiente a cada Servo Motor de dirección y elevación en las etiquetas "Lectura D" y "Lectura E" respectivamente.

4. Se ingresa el número de revoluciones y pulsos a girar (se debe tener un entendimiento previo de la relación de giro del eje del motor) en las etiquetas "REVOLUCIONES" y "PULSOS".

5. Se activa la palanca “GO” correspondiente, y el paquete guía comenzará a moverse.

Los botones adicionales en la parte inferior deberían permitir posicionar automáticamente el paquete guía basándose en las coordenadas de elevación y deflexión tomadas por el GPS, sin embargo esto no se encuentra implementado.

Comunicación entre pantalla y Servo Drive (“Controlador”)

El mando de posición ingresado por medio de la pantalla Automation Direct (EA7-T12C) de 12 [in], se logra a través de un PLC Direct Logic 205 (Koyo) con las características de la Tabla 2-5.

Tabla 2-5.
Características del controlador del paquete guía

Cantidad	Dispositivo	Características
1	CPU H2-WinPLC	Procesador 100 [MHz] Memoria Flash 8 [MB] Memoria Ram 8 [MB] RJ12 Serial RJ45 Ethernet 10 Mbps
1	Módulo de entradas digitales D2-16ND3-2	7/16 entradas digitales 24 [V] DC 8 [mA]
1	Módulo de salidas digitales D2-08TD2	8/8 salidas digitales 24 [V] DC 0.3 [A]
2	Módulos de comunicación serial H2-SERIO	4/6 puertos seriales Protocolo RS232C Conector RJ12
1	Módulo contador rápido de entrada/salida H2-CTRIO	0/8 entradas rápidas 9-30 [V] DC 40 [mA] 0/4 salidas rápidas 24 [V] DC 1.0 [A] por pulso

Para dotar de energía a este controlador se utiliza un convertidor DC – DC de 24 [V] cuya entrada proviene de la batería del vehículo (22 [V] a 28 [V] DC); las características del convertidor se muestran en la Tabla 2-6.

Tabla 2-6.
Convertidor DC –DC en el vehículo RM-70

Convertidor DC –DC VDZ460-D24-S24 (MM)	
Voltaje de Entrada	18 – 36 [V] DC
Voltaje de Salida	24 [V] DC $\pm 1\%$
Corriente de Salida	10.42 [A]
Potencia de Salida	250 [W]
Temperatura Operación	-55 °C a 85 °C

Todos los elementos mostrados permiten el posicionamiento del paquete guía, pero también se necesita de un sistema de generación eléctrica adicional, como se muestra a continuación.

Generación eléctrica para el posicionamiento

El sistema de generación eléctrica se compone de un generador de 10 [KVA] (Figura 2-9).



Figura 2-9. Generador STAMFORD para los controladores de posicionamiento

El motor a diésel del vehículo transmite el movimiento al generador eléctrico trifásico (Tabla 2-7), a través de 5 bandas sobre 2 poleas.

Tabla 2-7.
Generador Trifásico sin escobillas UCI del Vehículo

Generador UCI 164A	
Marca	STAMFORD
Fases	Trifásico
Voltaje de línea	220 [V]
Potencia	10.2 [KVA]
Velocidad angular del eje	1800 [rpm]

En el Anexo A.9 se calcula que los controladores de posición consumen máximo $S = 5.469[KVA]$ del generador; por tanto al generador le resta la capacidad para alimentar cargas hasta aproximadamente 4 [KVA].

2.1.2. Sistema de control de disparo

El sistema de disparo se compone de la activación de 40 cohetes; el número de cohetes a disparar se ingresa a través de la pantalla en la cabina y se controla indirectamente mediante un tiempo de disparo. En el diagrama de bloques de la Figura 2-10 se muestra el control de disparo.

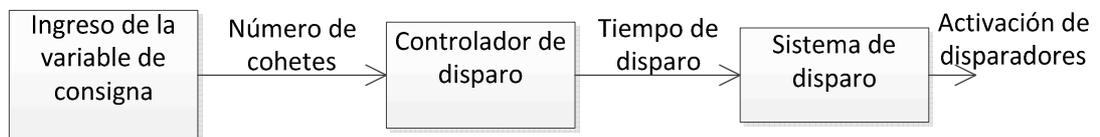


Figura 2-10. Control del disparo de cohetes

En la Figura 2-11 se muestran los elementos que componen cada bloque.

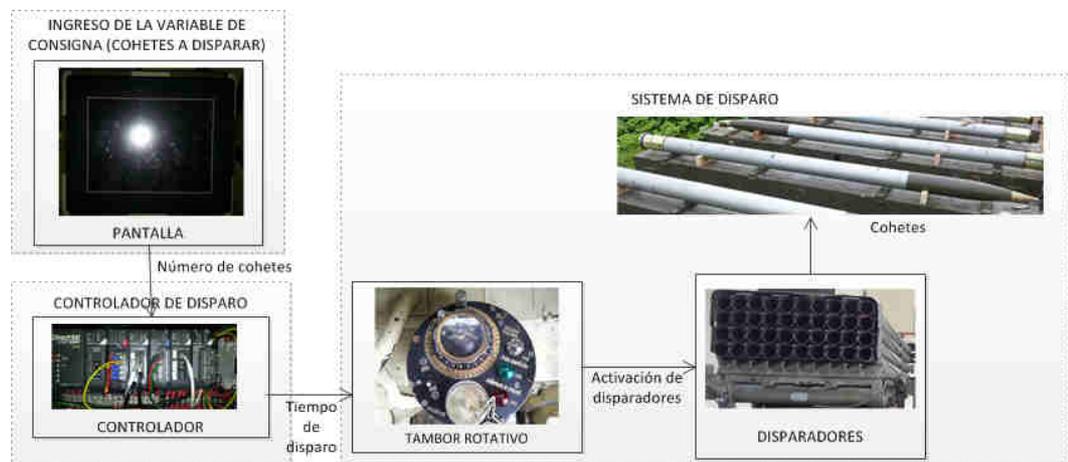


Figura 2-11. Elementos del sistema de disparo de cohetes del RM-70

El sistema de disparo permite ingresar el número de cohetes a disparar por pantalla, esta información se transmite por protocolo RS232 al controlador, el cual ajusta el tiempo en el tambor rotativo (control en lazo abierto); este tambor gira durante el tiempo especificado activando los disparadores.

A continuación se detalla cada uno de los componentes del sistema de disparo de cohetes.

Disparadores

Los mecanismos de disparo se encuentran en la parte posterior del paquete guía y se ubican hasta la altura del arco que rodea los 40 tubos (Figura 2-12).

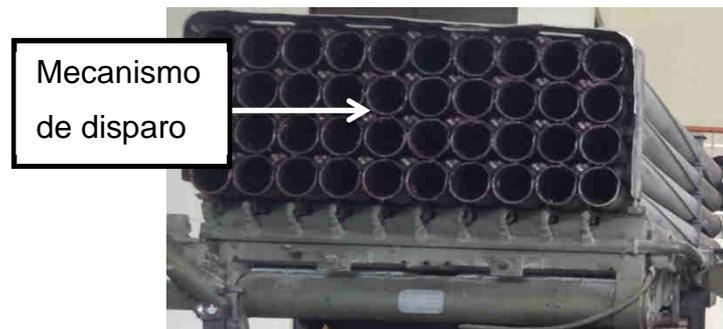


Figura 2-12. Mecanismo de disparo de cohetes del RM-70

Tambor Rotativo

El sistema de disparo analógico consiste en un tambor rotativo (Figura 2-13), que transmite una señal de activación de un cohete a medida que va girando; existen 40 contactos alrededor del eje del tambor, a medida que este gira se van conectando estos contactos y se ejecuta el disparo de los cohetes, de manera que se puede modificar el tiempo de giro del tambor para seleccionar cuántos cohetes se va a disparar.

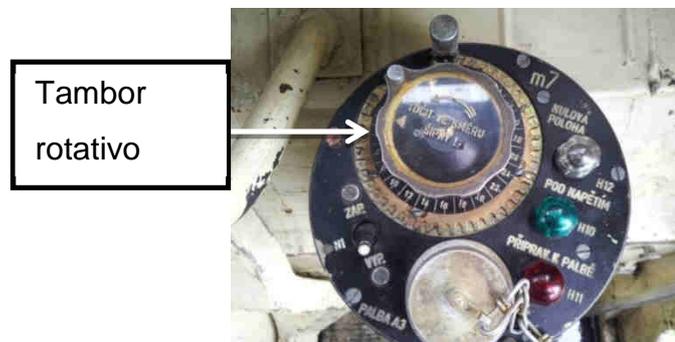


Figura 2-13. Tambor rotativo de la caja de disparo de cohetes del RM-70

En resumen el mecanismo de activación de cada cohete se trata de una onda cuadrada que permanece 400 [ms] en alto (+24 [V] DC) y 200 [ms] en bajo (0 [V] DC) que hace girar al tambor.

Controlador de disparo

El controlador de disparo realiza un control en lazo abierto, relacionando la cantidad de cohetes a disparar con el tiempo de giro del tambor.

Este sistema digital permite ingresar como valor numérico la cantidad de cohetes que posee actualmente el paquete guía, y también la cantidad de cohetes que se desea disparar (pudiendo variar de 1 a 40).

El sistema digital responde de forma sencilla (por software) a las siguientes acciones:

- Si el número de cohetes que se desea disparar es menor a los que se encuentran en el paquete guía, se disparan el número de cohetes indicado.
- Si el número de cohetes que se desea disparar es mayor a los que se encuentran en el paquete guía, se disparan el número de cohetes disponibles en el paquete guía.

El sistema de control de disparo posee cuatro seguros, los dos primeros se deben liberar para permitir el disparo de cohetes y los dos últimos se cierran al momento de llegar a una elevación y dirección determinada.

Pantalla

La ventana que permite el disparo se muestra en la Figura 2-14.



Figura 2-14. Ventana de Disparo de cohetes del Paquete Guía RM-70

Los pasos a ejecutarse sobre la ventana son:

1. Se ingresa a dicha ventana con la clave "7810"

El sistema de generación eléctrica debe indicar que se encuentra listo para el disparo

2. Se coloca el selector en ráfaga

Los seguros de liberación de elevación "SLE" y dirección "SLD" deben estar desactivados, y los seguros de elevación "SE" y dirección "SD" deben estar activados

3. Se ingresa el número de cohetes dentro del paquete guía

4. Se ingresa el número de cohetes a disparar mediante la casilla "INGRESO"
5. Se permite el disparo con el botón "DISPARADOR"

El controlador de Disparo ejecuta la secuencia determinada por el fabricante (Figura 2-15), y se encuentra incluido en el controlador de posicionamiento del paquete guía (Tabla 2-5).

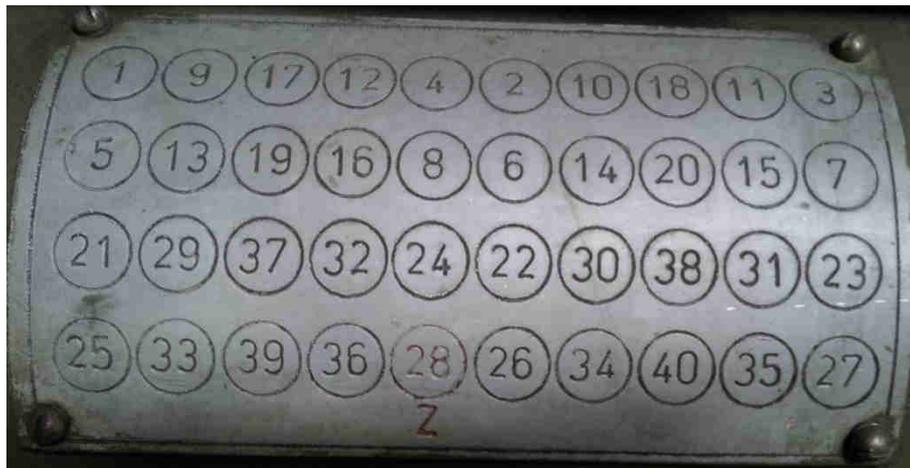


Figura 2-15. Secuencia de disparo indicada por el fabricante

Para operar el Sistema de Disparo se utiliza la misma pantalla de la Tabla 2-4.

2.1.3. Sistema de Recarga

El vehículo RM-70 posee un sistema de recarga, cuya finalidad es transferir¹⁰ 40 cohetes de la recargadora al paquete guía; considerando como paso previo, la alimentación¹¹ manual de estos 40 cohetes en la recargadora.

El funcionamiento de este sistema se detallará más ampliamente en el ítem 2.2, y su representación como un sistema a controlar, en el siguiente capítulo de este proyecto de grado.

¹⁰ Conocido de ahora en adelante como "recarga", por convencionalismo.

¹¹ Conocido de ahora en adelante como "carga", por convencionalismo.

A continuación se muestra la ventana del sistema de recarga de cohetes, anterior a este proyecto.

Pantalla

A pesar de no estar automatizado el proceso de recarga existe una ventana (Figura 2-16) de recarga.

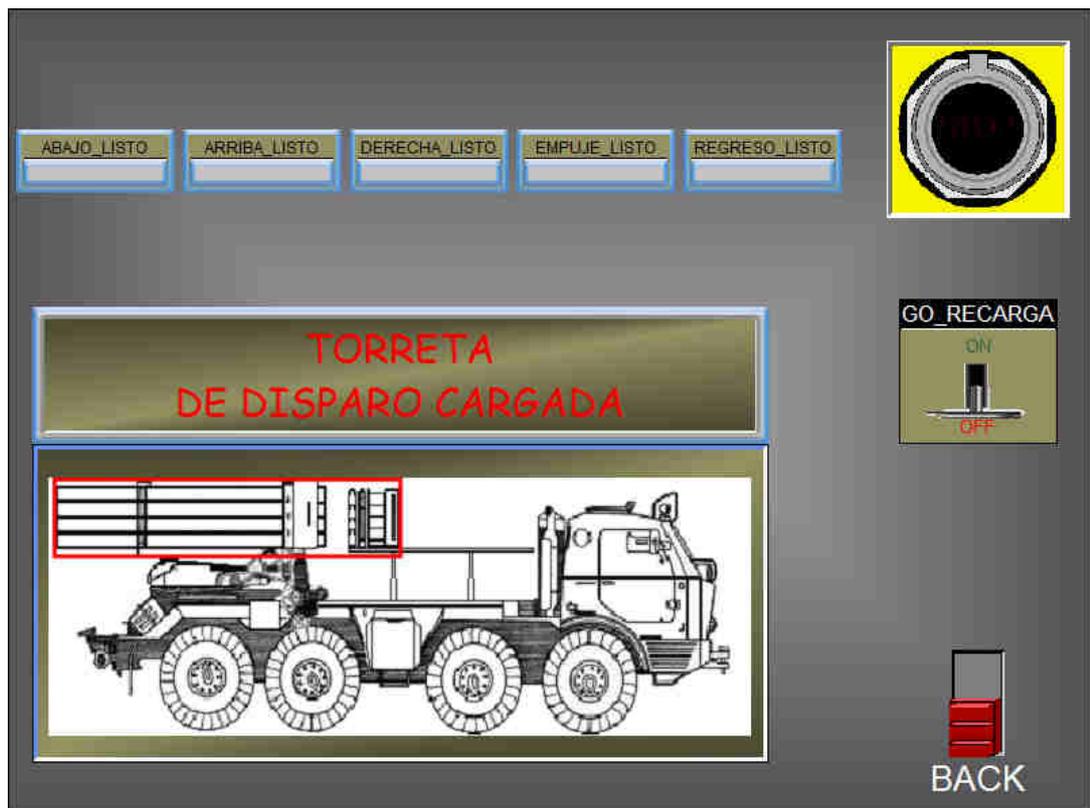


Figura 2-16. Ventana de Recarga de cohetes RM-70

Los pasos a ejecutarse sobre la ventana son:

1. Se ejecuta el modo automático activando la palanca "GO_RECARGA"
2. Se visualiza el estado de recarga en la parte inferior y en los botones de la parte superior

Se debe tomar en cuenta que la ventana solo se encuentra de forma gráfica, es decir que no está asociada ninguna variable a su respectiva dirección en el PLC, además existen dos inconvenientes en esta ventana:

- No puede existir un proceso de recarga completamente automatizado como lo propone el botón extremo derecho.¹²
- Cada visualización de la posición de la recargadora (imagen de la recargadora) no depende de un solo sensor.

Este proyecto de grado corrige dichos inconvenientes, y utiliza esta ventana como plantilla para la creación de la posterior interfaz gráfica.

A continuación se explica el modo de funcionamiento del sistema de recarga, y se detalla sus elementos.

2.2 Sistema de Recarga del vehículo RM-70

Inicialmente se indica el movimiento y espacio de trabajo de la recargadora, y posterior se detalla cada elemento; esto se realiza para facilitar la comprensión de este sistema.

2.2.1 Movimientos de la recargadora

En la Figura 2-17 y Figura 2-18 se muestra el movimiento de la recargadora con respecto a tres ejes de coordenadas, cuyo origen se encuentra en la base de la recargadora entre el marco trasero y delantero (Figura 2-39).

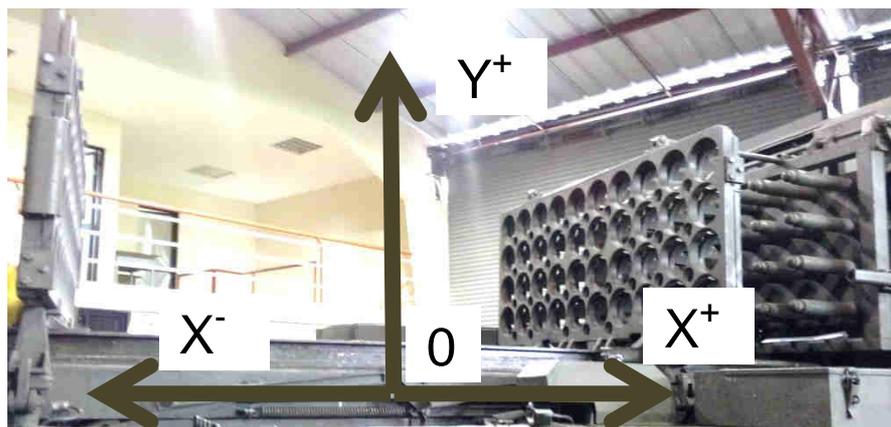


Figura 2-17. Sistema de referencia (vista lateral) de la recargadora del RM-70

¹² Se explica de manera detallada en los modos de funcionamiento y más adelante en el CAPÍTULO III

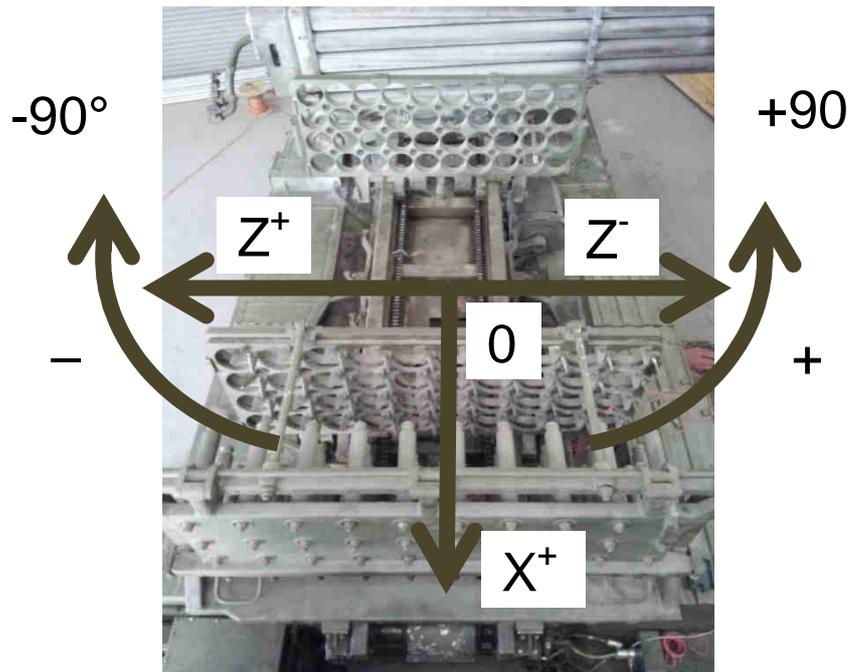


Figura 2-18. Sistema de referencia (vista superior) de la recargadora del RM-70

Este sistema de coordenadas, ubica a la recargadora según la Tabla 2-8.

Tabla 2-8.
Posiciones de la recargadora
según el sistema de coordenadas

Movimiento	Sistema de coordenadas	
	Posición	Referencia
1. Subir	20.35 [cm]	Desplazamiento de la recargadora en el eje Y
2. Bajar	0 [cm]	
3. Girar a -90°	-90 [°]	Rotación de la recargadora (plano XZ) en torno al eje Y
4. Girar a 0°	+0° [°]	
5. Recargar	-1.39 [m]	Desplazamiento del cargador en el eje X
6. Retroceder	+1.39 [m]	

El espacio de trabajo de la recargadora (según este sistema de coordenadas) se detalla a continuación.

2.2.2 Espacio de trabajo de la recargadora

El espacio de trabajo está limitado por los 6 movimientos de la recargadora, que se distribuyen en 8 pasos. La plataforma se debe encontrar sin cohetes y sobre la bases del chasis para la posición inicial.

Se divide el espacio de trabajo en la carga (4 primeros pasos) y recarga (4 pasos finales).

2.2.2.1 Carga de cohetes

- Primer paso.- Elevar la recargadora (Figura 2-20)
- Segundo paso.- Girar a -90° la recargadora (Figura 2-21)
- Tercer paso.- Girar a 0° la recargadora (Figura 2-20)
- Cuarto paso.- Bajar la recargadora (Figura 2-19)



Figura 2-19. Posición Inicial y Posición Abajo (IV) de la recargadora del RM-70



Figura 2-20. Posición Arriba (I) y Posición 0° (III) de la recargadora del RM-70



Figura 2-21. Posición -90° (II) de la recargadora del RM-70

Una vez ejecutado estos pasos se ha realizado la carga manual, luego la recargadora se coloca sobre la base del chasis y está lista para realizar la recarga de cohetes.

2.2.2.2 Recarga de cohetes

Antes del paso 5, el paquete guía debe estar en posición como indica la Figura 2-22.

- Quinto paso.- Elevar la recargadora (Figura 2-23)
- Sexto paso.- Avanzar con la recargadora (Figura 2-24)
- Séptimo paso.- Retroceder la recargadora (Figura 2-23)
- Octavo paso.- Bajar la recargadora (Figura 2-22)



Figura 2-22. Recargadora del RM-70 lista para la recarga, y Posición Abajo (VIII)



Figura 2-23. Posición Arriba (V) y Posición Retroceso (VII) de la recargadora del RM-70



Figura 2-24. Posición Recarga (VI) de la recargadora del RM-70

En este punto ha finalizado el proceso de recarga, la plataforma debe ser ubicada en la posición inicial para poder ejecutar estos 8 pasos cuando se necesite nuevamente.

2.2.3 Elementos del sistema de recarga

Este sistema de recarga (Figura 2-25), consiste en:

1. Una plataforma de carga (recargadora)
2. Un sistema hidráulico para la carga de cohetes
3. Un sistema eléctrico (combinando con este mismo sistema hidráulico) para la recarga
4. Sensores limitadores de posición¹³

¹³ Se encuentran distribuidos en el Sistema de Recarga, su ubicación se detallará en el siguiente capítulo

5. Y el tablero de control ubicado en la cabina.

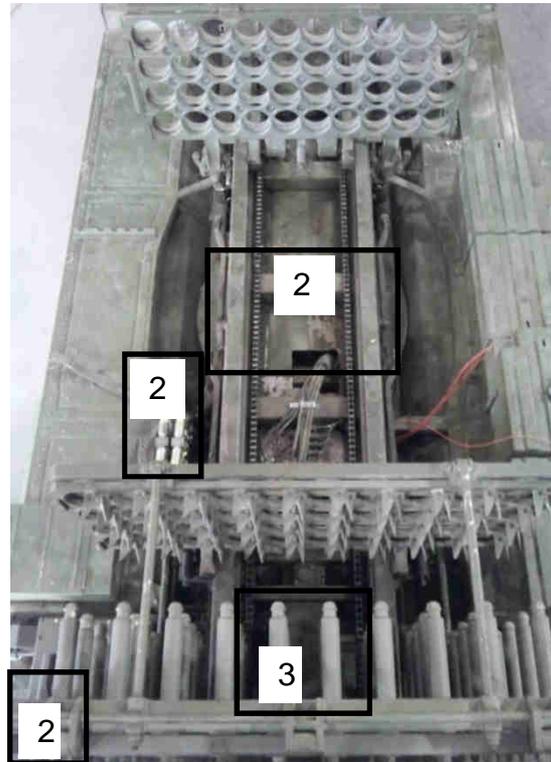


Figura 2-25. Sistema de Recarga del Vehículo RM-70:
2. Sistema hidráulico: 2a. Cilindros hidráulicos,
2b. Electroválvulas, 2c. Reservorio de aceite
3. Sistema eléctrico: Motor, Caja Reductora, Engranes, Cadenas

2.2.3.1 Sistema Hidráulico

El sistema hidráulico permite a la recargadora ejecutar los siguientes movimientos:

- Movimiento desde la base del chasis hacia arriba (Figura 2-20)
- Movimiento a -90 [°] desde el interior del vehículo hacia afuera (Figura 2-21)
- Movimiento a 0 [°] desde afuera hacia el interior del vehículo (Figura 2-20)
- Movimiento desde la posición superior hacia la base del chasis (Figura 2-19)

Los principales elementos del sistema hidráulico son: bomba, válvulas, y cilindros, mostrados en la Figura 2-26, su dimensionamiento se detalla en el ANEXO A.3.

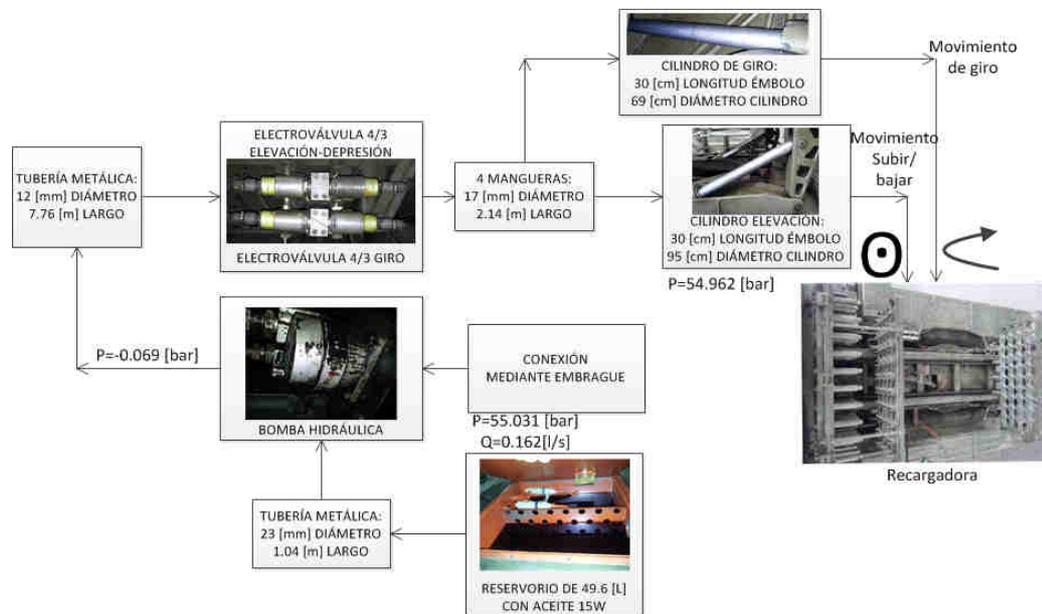


Figura 2-26. Sistema hidráulico de la recargadora

Este sistema posee para elevación dos cilindros hidráulicos doble efecto (Figura 2-27) con diámetro exterior de 90 [mm] y diámetro del émbolo de 45 [mm]; para giro un cilindro doble efecto con diámetro exterior 69[mm] y diámetro del émbolo 38[mm].



Figura 2-27. Cilindros hidráulicos del Sistema de Recarga:
 1. Cilindro de elevación (a. avance, b. regreso), 2. Cilindro de elevación, 3. Cilindro de giro

Dos cilindros van conectados de manera permanente hacia la estructura, y mediante una articulación (Figura 2-28) la recargadora puede subir y bajar, saliendo el cilindro con una inclinación de 30° ⁽¹⁴⁾; el tercer cilindro está conectado a una caja hidráulica de transmisión de potencia (Figura 2-29) que transforma el movimiento rectilíneo en rotatorio.



Figura 2-28. Articulación para elevación de la recargadora



Figura 2-29. Caja hidráulica de transmisión de movimiento para giro

Existen dos válvulas 4/3 con activación por solenoide Figura 2-30, que controlan los cilindros; La primera válvula se conecta hacia los dos cilindros en paralelo para el ascenso/descenso mediante cable C15/C16, y la segunda válvula se conecta al cilindro que genera el movimiento de giro mediante cable C17/C18.

¹⁴ Obtenido a partir del cateto adyacente de 13.85 [in] y la longitud del émbolo 16 [in].

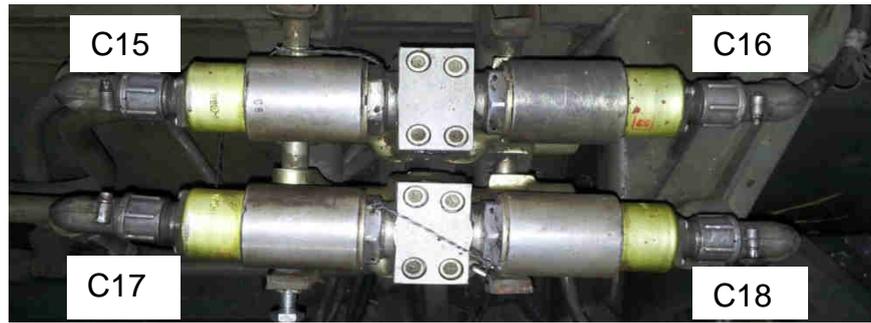


Figura 2-30. Válvulas 4/3 con activación por solenoide del Sistema de Recarga

La dirección del flujo se lo puede ver en la Figura 2-31. (“P” Presión se encuentra por la parte posterior de la válvula).

Del ANEXO A.7 se obtiene que el consumo de corriente para activar las electroválvulas es de 1.06 [A], con una potencia de operación de 25.44 [W].

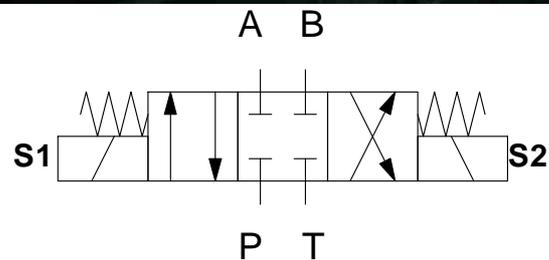
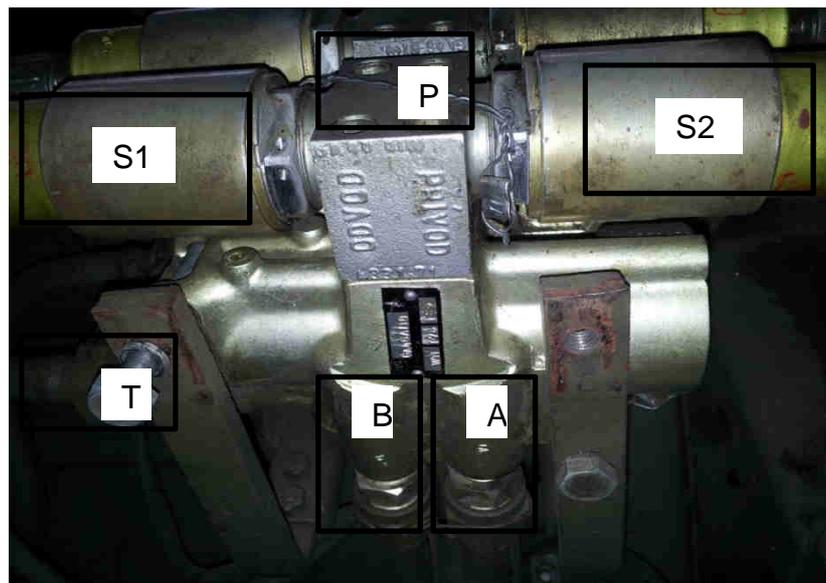


Figura 2-31. Esquema de funcionamiento de las válvulas del sistema de recarga

El fluido utilizado es aceite hidráulico 15W y se encuentra en un reservorio (Figura 2-32) a un costado de las electroválvulas; el reservorio

es un prisma rectangular, tiene largo de 0.40 [m] (15.75 [in]), ancho de 0.40 [m] (15.75 [in]) y una altura de 0.31 [m] (12 [in]).

El reservorio puede almacenar un máximo de:

$$V = l \times a \times h = (0.40 \times 0.40 \times 0.31) [m^3] \times \frac{1000 [l]}{1 [m^3]}$$

$$V = 49.6 [l]$$

Sin embargo el aceite debe ocupar, mínimo $\frac{3}{4}$ de la altura total del reservorio, por tanto se dispone de $V = 37.2 [l]$ para el sistema hidráulico.



Figura 2-32. Reservorio de aceite del sistema de recarga

El compartimiento de la parte inferior de la Figura 2-32 está destinado a la distribución de aceite, mientras que en la parte superior retorna el aceite del circuito hidráulico.

En la parte inferior de la recargadora está la bomba hidráulica mecánica (Figura 2-33) cuya potencia de operación (calculada en el ANEXO A.3) es $P_r = 0.758 [KW]$, y la corriente que consumiría si fuese una bomba hidráulica eléctrica a 24[V] es de $I = 31.59 [A]$.

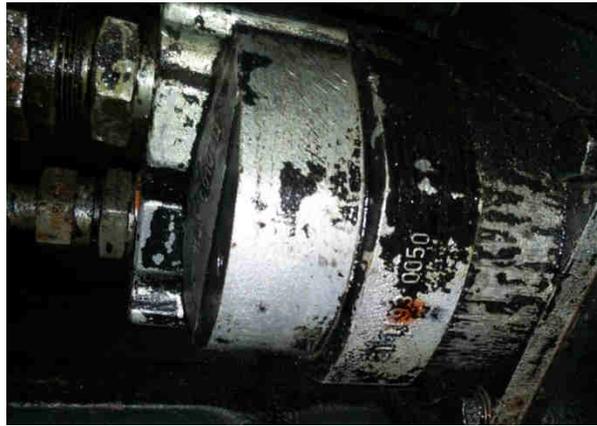


Figura 2-33. Bomba hidráulica mecánica para el Sistema de Recarga

2.2.3.2 Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico permite a la recargadora ejecutar los siguientes movimientos:

- Movimiento de recarga hacia el paquete guía (Figura 2-24)
- Movimiento de retroceso desde paquete guía (Figura 2-23)

Los principales elementos del sistema eléctrico son: motor, reductor, y cadena mostrados en la (Figura 2-34).

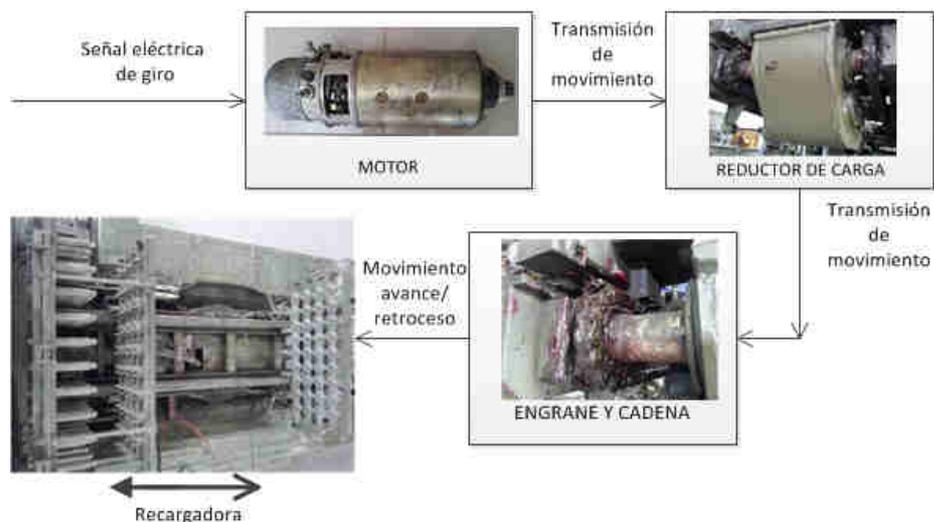


Figura 2-34. Sistema eléctrico de la recargadora

Este sistema eléctrico consta de un motor DC (Figura 2-35) de 5.8 [KW] de potencia máxima, con potencial eléctrico de 24 [V]. En el ANEXO A.6 se

calcula, que la potencia de operación es 1.435 [KW], consumiendo 59.79 [A] en tiempo estable¹⁵.



Figura 2-35. Motor DC Magneton de la recargadora

El motor DC está ubicado en la parte posterior de la cabina y se alimenta mediante la batería; el eje de este motor está conectado a una caja de transmisión de potencia, esta caja se conecta mediante dos engranes a la recargadora; y cada engrane mueve una cadena de transmisión tipo rodillo, como se muestra en la Figura 2-37, Figura 2-38 y Figura 2-36.



Figura 2-36. Engranes y cadena de transmisión del sistema de recarga

A continuación se puede ver la conexión del motor hacia la caja de transmisión de potencia; el motor debe situarse en el espacio vacío sujetado por las abrazaderas.

¹⁵ La corriente de arranque es 179.37 [A], el triple de la corriente de operación.



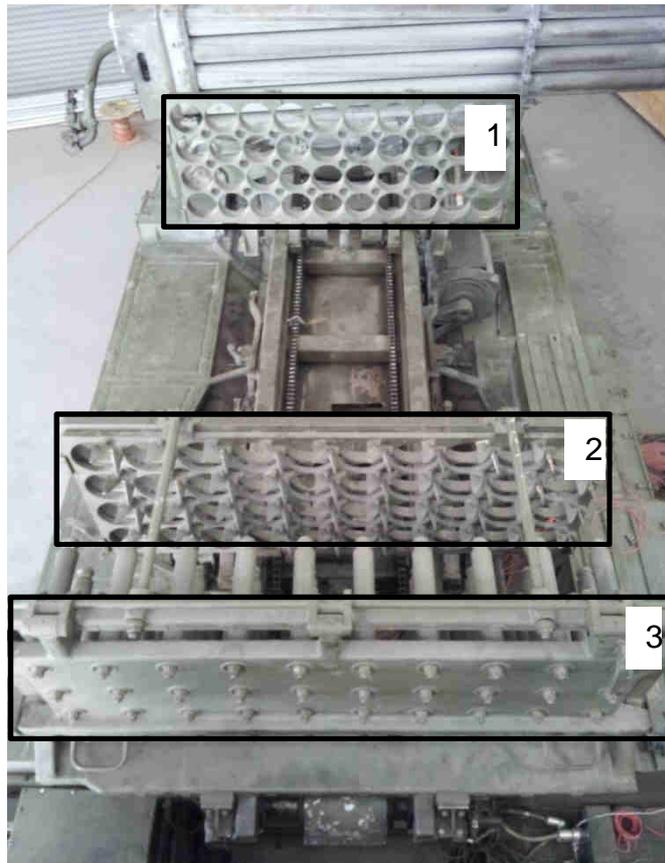
Figura 2-37. Motor DC (ausente) conectado a la caja de transmisión de potencia

La caja de transmisión de potencia se conecta mediante un eje a los engranes sujetos a la recargadora (Figura 2-38); estos engranes hacen girar a una cadena (Figura 2-36) y finalmente a la recargadora.



Figura 2-38. Caja de transmisión de potencia conectada a cadena tipo rodillo

El movimiento del motor permite desplazar las tres secciones (Figura 2-39) de la recargadora:



**Figura 2-39. Recargadora del Vehículo RM-70:
1. Marco delantero, 2. Marco trasero, 3. Cargador (Puntas)**

Inicialmente las estructuras 1 y 3 se deslizan conjuntamente, cuando la estructura 1 ha llegado a su posición final, la estructura 2 es acarreada por la 3 hasta el final; En el Retroceso la estructura 1, 2, y 3 regresan conjuntamente, y en el camino la estructura 1 y 2 van tomando su ubicación.

2.2.3.3 Sensores (de presencia) limitadores de posición

Los movimientos de la recargadora pueden ser limitados con la ayuda de estos sensores de presencia ubicados en el RM-70; cada sensor es de tipo fin de carrera (Figura 2-40) e indican que se debe detener el movimiento de la recargadora.



Figura 2-40. Limitador de posición C23 en el Sistema de Recarga

Cada fin de carrera (limitador de posición) se encuentra ubicado de manera específica en la estructura (ANEXO C), para indicar en qué posición se encuentra la recargadora, y se pueden listar en la Tabla 2-9:

**Tabla 2-9.
Sensores de posición de la recargadora**

Sensor	Cable
K17	C23
---	C37
---	C26
---	C36
---	C38
---	C26
K12, K13	C24, C25

Existe un seguro tipo palanca SPALANCA (Figura 2-41) y cuatro seguros tipo garra (Figura 2-42) (en dos pares K12 y K13) que sujetan la recargadora en la base del chasis; para iniciar el giro de la recargadora se debe remover el seguro SPALANCA manualmente, y para iniciar el levantamiento de la recargadora se debe remover los seguros K12, K13 manualmente.



Figura 2-41. Seguro tipo palanca de la recargadora

El seguro SPALANCA es de accionamiento mecánico con señal eléctrica que indica su acción (C26), este debe desactivarse manualmente para iniciar el movimiento de giro -90° y se activa automáticamente al regresar a la posición 0° .



Figura 2-42. Seguro tipo garra de la recargadora

El seguro K12, K13 es de accionamiento mecánico con dos señales eléctricas que indican su acción, este seguro debe desactivarse manualmente para iniciar el Proceso de Recarga, y activarse manualmente para culminar el Proceso de Recarga.

2.2.3.4 Modos de funcionamiento

La recargadora fue diseñada para operarse desde el tablero principal (Figura 2-43) en la cabina del vehículo, cumpliendo dos modos de operación: manual y automático:

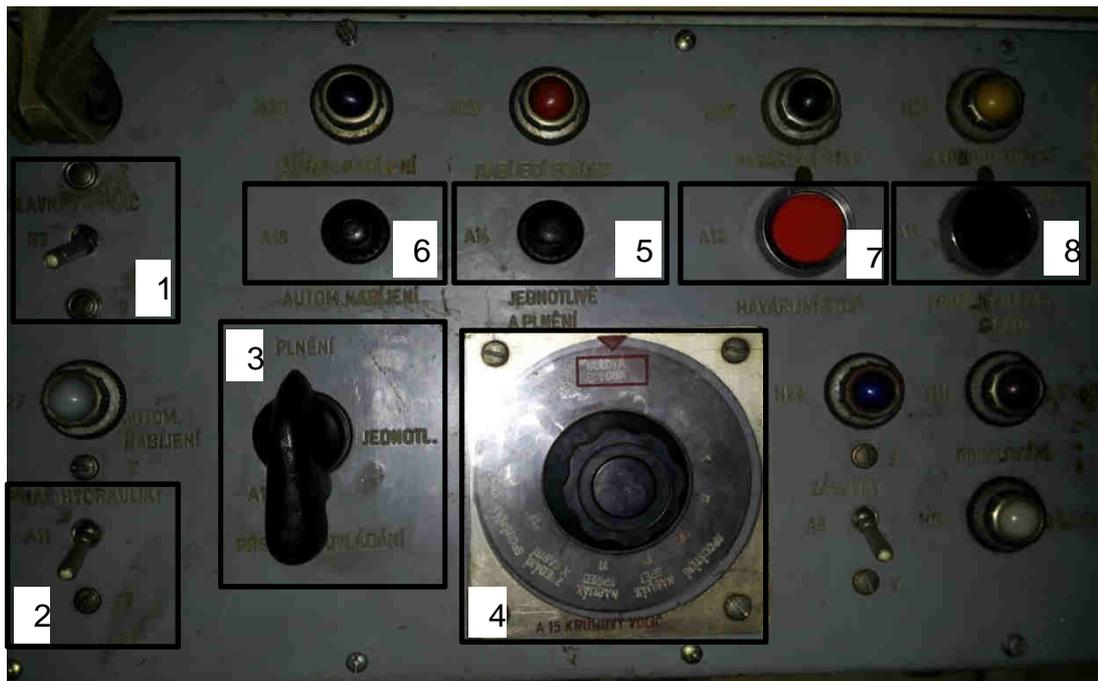


Figura 2-43. Tablero de mando para el proceso de recarga de cohetes

1. N3. Interruptor de encendido, para dotar de energía al tablero.
2. A11. Interruptor de encendido, para conectar la bomba hidráulica.
3. A17. Interruptor de tres posiciones, que permite seleccionar: apagado, modo manual, y modo automático.
4. A15. Interruptor tipo disco, que permite seleccionar el paso a ejecutarse en el proceso de recarga.
5. A14. Pulsador de acción, para ejecutar el paso seleccionado por el disco (modo manual).
6. A16. Pulsador de acción, para ejecutar los pasos seleccionados por el modo automático.
7. A12. Pulsador tipo rasante para EMERGENCIA
8. A13. Pulsador tipo rasante para REESTABLECER la operación luego de la emergencia

Estos mandos del tablero permiten los dos modos de operación, indicados a continuación.

Modo de operación Manual

Para el modo de operación manual (carga y/o recarga) se debe realizar los siguientes pasos:

1. Activar el interruptor de encendido N3
2. Se conecta el eje de giro de la bomba hidráulica A11
3. Se selecciona el modo manual girando A17 una posición hacia la derecha
4. La posición I permite a la plataforma ubicarse en la Posición Arriba (sin cohetes).
5. Se debe colocar el Paquete Guía en 1500 [milésimas] en dirección y 0 milésimas en [elevación].
6. La posición II permite a la plataforma ubicarse en la Posición -90° (sin cohetes). Aquí se coloca de manera manual los 40 cohetes de 122 [mm] en los orificios de la plataforma.
7. La posición III permite a la plataforma ubicarse en la Posición 0° (con cohetes).
8. La posición IV permite a la plataforma regresar a la Posición Abajo (con cohetes).

En este punto se ha colocado los cohetes sobre la plataforma, y se puede iniciar el proceso de recarga.

9. La posición V permite a la plataforma ubicarse en la Posición Arriba (con cohetes)¹⁶.
10. Se debe colocar el Paquete Guía en 3000 [milésimas] en dirección y 0 milésimas en [elevación].
11. La posición VI permite a la plataforma ubicarse en la Posición Recarga (con cohetes). Esta posición es la que permite transferir los cohetes de la recargadora al paquete guía.

¹⁶ En el siguiente capítulo se propone que el modo de funcionamiento automático, permita verificar si la recargadora está correctamente alineada con el paquete guía.

12. La posición VII permite a la plataforma ubicarse en la Posición Retroceso (sin cohetes).

13. La posición VIII permite a la plataforma ubicarse en la Posición Abajo (sin cohetes).

Una vez ejecutado el paso de la posición VIII ha concluido la recarga, ahora se debe colocar los seguros K12, K13 sobre la posición inicial para poder ejecutar los 8 pasos nuevamente cuando se desee.

14. La posición 0, anterior al paso I, permite el rearme del sistema.

Modo de operación Automático

Para el modo de operación automático (solo recarga) se debe realizar los siguientes pasos:

1. Activar el interruptor de encendido N3
2. Se enciende la bomba A11
3. Se selecciona el modo manual girando A17 una posición hacia la derecha
4. Se culmina la carga de cohetes sobre la plataforma (hasta el octavo punto del Modo Manual), y puede iniciar la recarga.
5. Se selecciona el modo automático girando A17 dos posiciones hacia la izquierda
6. Se debe colocar el Paquete Guía en 3000 [milésimas] en dirección y 0 milésimas en [elevación].
7. La posición IX permite a la plataforma operar en modo automático.
8. Se presiona el pulsador de acción A16 para iniciar el proceso de recarga.

La recarga está inhabilitada, debido a que los limitadores de posición se encuentran desconectados, además que no se posee del posicionamiento automático¹⁷ del paquete guía para la recarga.

2.3 Estado del sistema de recarga del vehículo

El sistema hidráulico se encuentra funcional, el sistema eléctrico parcialmente funcional, los limitadores de posición (que indican cuando el soporte ha llegado a cierta posición) están desconectados, el modo automático se encuentra inoperable y el modo manual no tiene limitaciones de acuerdo a la ubicación de la recargadora. En la Tabla 2-10 se puede ver el estado de cada elemento del Sistema de Recarga.

Tabla 2-10.
Estado de los elementos del sistema de recarga del RM-70

Cant.	Elemento	Estado	Observación
1	Generador Eléctrico STAMFORD	Funcional	Disponible 4 [KVA]
1	Pantalla táctil EA7-T12C	Funcional	Implementada con comunicación serial
1	Plataforma Recargadora	Funcional	
2	Cilindro doble efecto ascenso/descenso	Funcional	
1	Cilindro doble efecto giro	Funcional	
1	Caja hidráulica de transmisión de potencia para giro	Funcional	
2	Válvulas 4/3 activación por solenoide	Funcional	
1	Reservorio de aceite		
1	Bomba hidráulica mecánica	Funcional	
1	Motor DC Magnetron	Disfuncional	
2	Engranajes	Funcional	Acoplado al costado de la recargadora
2	Cadenas de transmisión tipo rodillo	Funcional	Mueven la recargadora
1	Caja de transmisión de potencia para recarga/retroceso	Funcional	Acoplada al eje del motor

CONTINÚA →

¹⁷ El proceso de recarga requiere que el paquete guía se encuentre en cierta posición y dirección para poder transferir los cohetes, como se analiza más adelante.

1	Sensor C23	Disfuncional	Desconectado	
1	Sensor C24, C25	Disfuncional	Desconectado	
1	Sensor C26	Disfuncional	Desconectado	
1	Sensor C35	Disfuncional	Desconectado	
1	Sensor C36	Disfuncional	Desconectado	
1	Sensor C37	Disfuncional	Desconectado	
1	Sensor C38	Disfuncional	Desconectado	
1	Interruptor N3	Funcional		
1	Interruptor A11	Funcional		
1	Interruptor A17	Disfuncional	Desconectado	la opción automática
1	Interruptor A15	Funcional		
1	Pulsador A14	Funcional		
1	Pulsador A16	Disfuncional	Desconectado	
1	Pulsador A12	Funcional		
1	Pulsador A13	Disfuncional	Desconectado	

3 CAPÍTULO III

INGENIERÍA BÁSICA DEL SISTEMA DE RECARGA MODERNIZADO

En este capítulo se realiza los diseños que cumplen los requerimientos funcionales¹⁸ (CAPÍTULO I) de este proyecto de grado, para lo cual se organiza este capítulo de la siguiente manera:

El primer requerimiento de este proyecto es proponer un respaldo en el proceso de recarga, para lo cual se aplica la lógica del proceso en dos controladores, el primero es el respaldo, permitiendo el mando (de la recargadora) desde tablero, y el segundo es el principal, permitiendo el mando desde pantalla.

El segundo requerimiento es garantizar una correcta recarga identificando posibles causas de fallo, para ello se dimensiona la instrumentación necesaria que permita controlar y supervisar el proceso.

El tercero requiere integrar los modos de operación de la recargadora, en el sistema de control ya implementado, entonces se diseña una red de comunicación entre ambos sistemas.

Para cumplir con estos tres requerimientos, se comienza mostrando la estrategia de control (en “3.1 Estrategia de control”), posteriormente se muestra la forma de controlar los actuadores con una señal de control de baja corriente (en “3.2 Etapa de potencia para los actuadores del Sistema de Recarga”), posterior se muestra la lógica de proceso para el controlador de respaldo (en “3.4 Control desde el tablero principal”) y para el controlador principal con su interfaz gráfica (en “3.5 Control desde pantalla”), luego se dimensiona los elementos de medición (en “3.3 Instrumentación para el sistema de recarga”).

¹⁸ El último requerimiento, que compara el sistema modernizado, se encuentra en el capítulo V.

Para finalizar se selecciona el tipo de controladores a utilizar (en “3.6 Selección del control”) y se diseña la red de comunicación entre sistemas (“3.7 Comunicación entre el controlador principal de recarga y el implementado”).

3.1 Estrategia de control

Con el propósito de controlar el movimiento (Posición y Giro) de la recargadora, se propone la estrategia de control en lazo cerrado de la Figura 3-1, aplicando un control todo o nada sobre los actuadores.

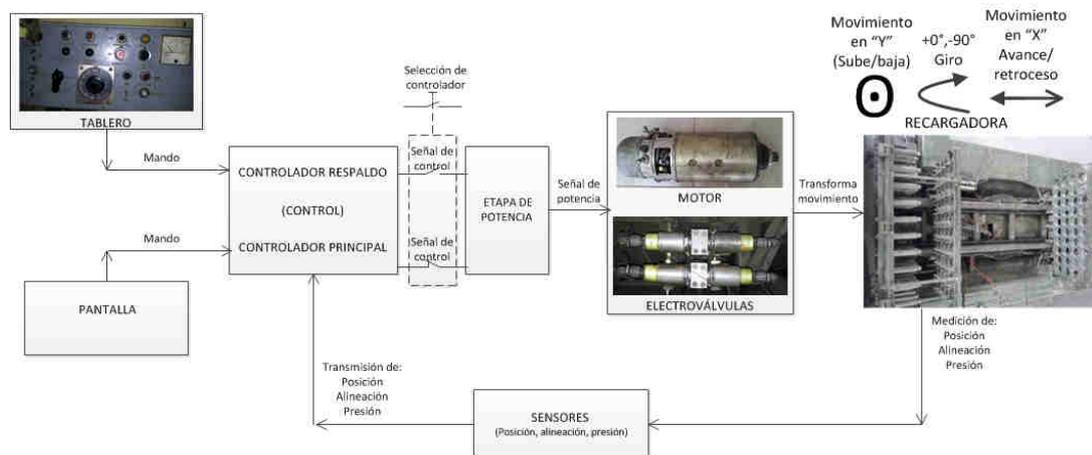


Figura 3-1. Esquema de bloques de control de la unidad de carga (recargadora)

Para controlar el desplazamiento de la recargadora sobre el eje Y, se necesita medir posición vertical en dos puntos $\{0, 20.35\}$ [cm] de altura, y se manipula el caudal en la tubería todo (0.162 [l/s]) o nada (0 [l/s]); para controlar el desplazamiento del cargador sobre el eje X, se necesita medir posición horizontal en dos puntos $\{-1.39, 1.39\}$ [m] de avance, y se manipula la velocidad del motor todo (1500 [rpm]) o nada (0 [rpm]); y para controlar la rotación de la recargadora respecto al eje Y, se necesita medir ángulo en dos puntos $\{-90, +0\}$ [°], y se manipula el caudal en la tubería todo (0.162 [l/s]) o nada (0 [l/s]).

3.2 Etapa de potencia para los actuadores del Sistema de Recarga

En la etapa de potencia se diseña el circuito para manipular el motor DC y las electroválvulas, y también se analiza la factibilidad de reemplazar la bomba hidráulica.

Para este diseño se observa en la Tabla 3-1 el consumo elevado de corriente de los actuadores (Fox & McDonald, 1995), utilizado para dimensionar los elementos de potencia (*para un control realimentado todo o nada*).

Tabla 3-1.
Consumo de corriente de los actuadores del Sistema de Recarga

Actuador	Potencia [KW]	Corriente [A]
Motor DC	1.435	59.79*
Electroválvulas	0.025	1.06

*Esta corriente se triplica en el arranque, requiriendo protección contra sobre-corriente, a través de un relé térmico de 200 [A].

Existen varios tipos de elementos electrónicos capaces de suministrar esta alta corriente, algunos de ellos se muestran en la Tabla 3-2: (Rashid, 2001)

Tabla 3-2.
Voltajes y Corrientes de carga DC de dispositivos electrónicos de potencia

Dispositivo	I_{MAX} [A]	V_{MAX} [V]	Activación AC/DC	Señal Control		Actuador	
				On	Off	Motor	Válvulas
Transistores de potencia							
BJT	250	400	DC – I	Si	Si	✓	✓
MOSFET	50	500	DC – V	Si	Si		
SIT	300	1.2K	DC – V	No ¹⁹	Si		
IGBT	400	1.2K	DC – V	Si	Si		
Tiristores							
GTO	3K	4K	DC – Pulso	Si	Si		
Triac	300	1.2K	DC – Pulso	Si	No		
SCR	1.5K	6K	DC – Pulso	Si	No		
Contactores	950	690	AC/DC	Si	Si	✓	✓
SSR	80	600	AC/DC	Si	Si		✓

¹⁹ Los transistores de potencia SIT no se consideran con una señal de control para activación (ON), ya que en estado de conducción tiene una alta caída de voltaje.

En la selección de transistores se prefiere el BJT ya que se puede controlar la corriente base-emisor fácilmente a través de una resistencia, incrementando la circulación de corriente colector-emisor; a diferencia del IGBT y MOSFET donde se necesita incrementar el voltaje compuerta-fuente.

En la selección de tiristores se concluye que necesitan de un circuito adicional para la conmutación (conexión y desconexión), que involucra un capacitor de carga y descarga, un inductor limitante, y uno o más tiristores; esto incrementa la complejidad y tamaño del circuito.

Los SSR conducen la corriente de carga indicada siempre que la temperatura de operación no supere los 40 °C, al igual que los Contactores; sin embargo los Contactores pueden soportar varias veces la corriente nominal por unos instantes de tiempo, ideal para arranque de motores.

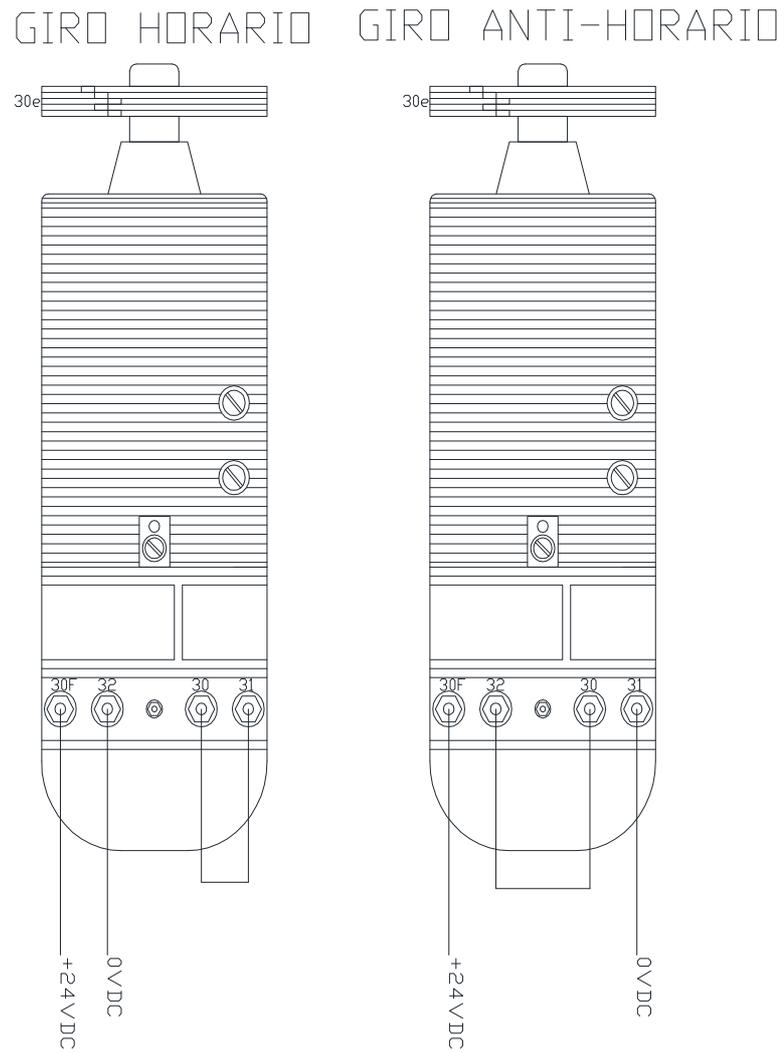
Se decide entre las siguientes opciones de la Tabla 3-2:

- Los transistores de potencia, y los tiristores son descartados por la complejidad que involucra el diseño de sus circuitos de activación, y por la imposibilidad de su ventilación (sobre la caja herméticamente sellada).
- Los SSR son descartados ya que permiten conducir hasta 80 [A].
- Se seleccionan los contactores para el diseño, por su capacidad de soportar varias veces la corriente nominal por unos instantes de tiempo, ideal en el arranque del motor.

A continuación se diseña el circuito de potencia basado en contactores.

3.2.1 Motor DC de la recargadora

En la Figura 3-2 se muestra la configuración que debe tener el motor para girar en sentido horario, y en sentido anti-horario.



**Figura 3-2. Configuraciones para sentidos de giro del motor DC:
a) giro horario; b) giro anti-horario**

Para realizar los sentidos de giro de la Figura 3-2, se diseña el circuito de potencia que forme estas configuraciones.

Las configuraciones de giro de la Figura 3-2 se logran a través del circuito de la Figura 3-3.

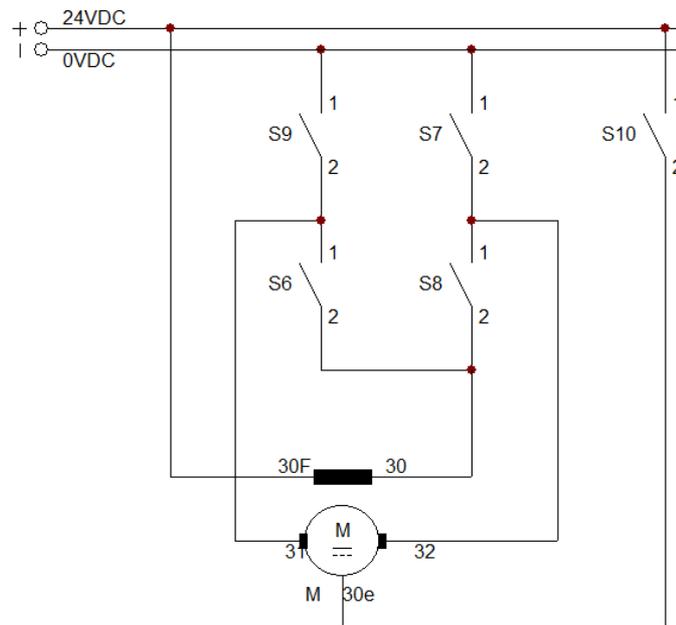


Figura 3-3. Circuito de potencia para giro horario y anti-horario del motor DC

Para girar en sentido horario se activan S6, S7 y S10, y en sentido anti-horario S8, S9 y S10.

3.2.2 Electroválvulas

Para la activación de las dos electroválvulas, se diseña el circuito de potencia que posea cuatro señales, para los solenoides de las dos electroválvulas. Las activación de los solenoides se logran a través del circuito de la Figura 3-4.

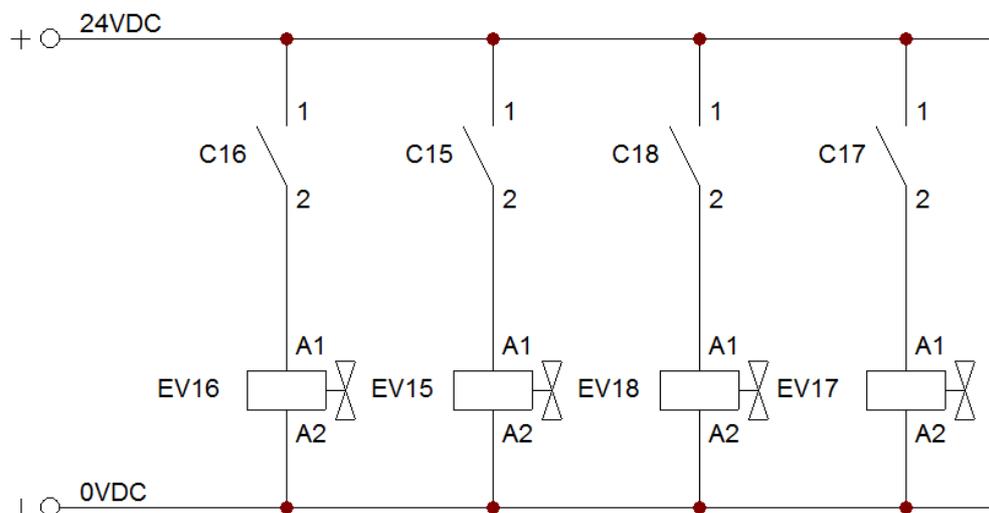


Figura 3-4. Circuito de potencia para activación de las electroválvulas

Para realizar el movimiento de subir, se activa S2; para el movimiento de bajar, se activa S3; para el movimiento de girar -90° , se activa S4, y para el movimiento de girar 0° , se activa S5.

Se resume que la salida controlador necesita:

- 4 señales digitales para las electroválvulas (S2, S3, S4, S5)
- 2 señal digitales para el giro horario del motor DC (S6, S7)
- 2 señal digitales para el giro anti-horario del motor DC (S8, S9)
- 1 señal digital para activar el magneto²⁰ (S10)

Ya se diseñó los circuitos de potencia que amplifican la señal de control hacia el motor DC y las electroválvulas, ahora se analiza la viabilidad de reemplazar la bomba hidráulica.

3.2.3 Bomba hidráulica

La bomba no es controlable eléctricamente, es por esto que se analiza la viabilidad de reemplazar esta bomba por una de accionamiento eléctrico para que se pueda controlar desde el controlador.

En la Figura 3-5 se ve las posibles fuentes de energía para la bomba.



Figura 3-5. Posibles fuentes de energía para la bomba hidráulica de accionamiento eléctrico

²⁰ Acopla el eje del motor a la caja reductora

En la Figura 3-5 se muestra que la batería del vehículo y el generador eléctrico son las posibles fuentes de energía, ahora en la Tabla 3-3 se detalla la viabilidad de cada una.

Tabla 3-3.
Ventajas y desventajas de la fuente de energía para la bomba hidráulica

	Ventaja	Desventaja
Generador eléctrico	-----	Necesita que el vehículo este encendido, y si el vehículo ya se encuentra encendido, es mejor conectar el eje de la bomba al eje del motor a diésel (como se hace actualmente)
Batería	-----	Descarga la batería del vehículo, pudiendo limitar la operación del motor DC y de los disparadores.

La utilización de batería no trae ninguna ventaja considerable, simplemente elimina la necesidad de encender el vehículo, y la utilización del generador no trae ninguna ventaja de operación en combate; es por esto que no es recomendable el cambio a una bomba hidráulica de activación eléctrica.

Sin embargo una bomba hidráulica eléctrica puede servir como respaldo en un remoto fallo de la bomba hidráulica de accionamiento mecánico; para la adquisición de la bomba de respaldo se utilizan los datos obtenidos en el ANEXO A.3.

A continuación se dimensiona los elementos de medición del proceso de recarga.

3.3 Instrumentación para el sistema de recarga

El sistema de recarga cuenta con limitadores de posición ya instalados en el vehículo; además se incluye otros sensores que garanticen una correcta recarga, principalmente que permitan saber el estado de alineación de la recargadora con el Paquete Guía, y la presión que ejerce la bomba hidráulica.

Los sensores sobre el Sistema de Recarga se describen a continuación:

3.3.1 Limitadores de posición y seguro de movimiento:

Para controlar el desplazamiento de la recargadora sobre el eje Y, se necesita medir posición vertical en dos puntos 0 [cm] ó 20.35 [cm] de altura; para controlar el desplazamiento del cargador sobre el eje X, se necesita medir posición horizontal en dos puntos -1.39 [m] ó 1.39 [m]; y para controlar la rotación de la recargadora respecto al eje Y, se necesita medir ángulo en dos puntos -90 [°] ó +0 [°].

Es por esta razón (control) que se necesita medir las variables posición y rotación, estas variables se miden con estos los limitadores de posición, dándoles la funcionalidad de la Tabla 3-4.

Tabla 3-4.
Limitadores de posición, para medir
posición y rotación de la recargadora

Sensor	Utilización
C23	recargadora se encuentra en la Posición Abajo
C37	recargadora se encuentra en la Posición Arriba
C36	recargadora se encuentra en la Posición Retroceso
C38	recargadora se encuentra en la Posición Recarga
C26	recargadora se encuentra en la Posición 0°.
C24, C25	Requiere girar manualmente para poder iniciar el Proceso de Recarga
C35	recargadora se encuentra en la Posición de desacople del motor DC

Estos limitadores poseen características similares, entre las más importantes:

- Son de tipo fin de carrera
- Poseen un contacto NA
- Son sensores pasivos
- Robustos físicamente

El dimensionamiento como tal, se realiza para los sensores adicionales que permiten supervisar el proceso de recarga, como se detalla a continuación.

3.3.2 Sensor para la alineación:

Una requerimiento del proceso es garantizar una correcta recarga, para la cual se mide la alineación del paquete guía con respecto a la recargadora, de acuerdo a la Tabla 3-5.

Tabla 3-5.
Posiciones Recargadora - Paquete Guía para el proceso de recarga

	Recargadora	Paquete guía	
	<i>Plano ZX en torno al eje Y</i>	<i>Plano XY en torno al eje Z (Elevación)</i>	<i>Plano ZX en torno al eje Y (Dirección)</i>
Carga de cohetes	-90°	0°	90°
Recarga de cohetes	0°	0°	180°

En la carga el paquete guía tiene un rango aproximado de $90^\circ +7^\circ/-5^\circ$ en dirección, y en elevación no afecta la variación de ángulo (se hace 0° para bloquear el disparo).

En la recarga se tiene las siguientes medidas:

$$d = 122[mm] \text{ Diámetro del cohete}$$

$$D = 124[mm] \text{ Diámetro del orificio para cohete}$$

Por tanto el desfase máximo entre la recargadora y el Paquete Guía puede ser de $D - d = (124 - 122)[mm] = 2[mm]$, por lo que se requiere un medidor de alineación de alta precisión.

En la Tabla 3-6 (SIGMA, 2014), se realiza la selección del sensor adecuado para la alineación.

Tabla 3-6.
Sensores para alineación
recargadora – paquete guía

Sensor	Detecta objetos	Alcance [m]	Temp. Operación °C	Protección Hasta	Precisión acercamiento radial ^{21*}
Inductivo	Metálicos	≤0.04	≤250	IP68	Alta
Magnético	Magnéticos	≤0.06	≤70	IP67	Alta
Capacitivo	Metálicos, No-metálicos, Sólidos y Líquidos	≤0.05	≤70	IP68	Media
Ultrasónico²²	Reflejen Sonido	≤15	≤70	IP64	Baja
Óptico	Reflejen Luz	≤100	≤300	IP67	Alta

Los sensores capacitivo y ultrasónico se rechazan por ser poco precisos, y el sensor magnético se descarta porque puede ser activado involuntariamente por la estructura del RM-70.

El sensor óptico es el más adecuado para una correcta alineación gracias a su precisión ante acercamiento radial (diámetro pequeño del haz de detección entre emisor y receptor), sin embargo necesita de un intenso mantenimiento para alinear el espejo de reflexión.

La mejor opción es colocar tres sensores inductivos en lugares alternativos²³, para medir la posición del paquete guía de acuerdo a la Tabla 3-5.

Estos tres sensores para la alineación deben cumplir las siguientes características:

- Sensores inductivos de proximidad

²¹ Depende del diámetro del sensor

²² Es insensible ante la suciedad

²³ Se debe precaver la ubicación de los sensores en el paquete guía, ya que en el disparo, la temperatura alcanzada sobre la matriz de tubos es muy alta, y puede dañar al sensor.

- Diámetro de 7 [mm] a 12 [mm] (Precisión de alineación)
- Distancia de medición de 1.5 [mm] a 6 [mm] (Para protegerlo de un golpe)
- Debe poseer un contacto NA
- Alimentación de 20 [V] a 28 [V]
- Grado de protección \geq IP54
- Temperatura de operación $> 35^\circ$ C
- Tomar en cuenta la corriente en estado apagado

3.3.3 Sensor de presión para el circuito hidráulico

Un requerimiento del proceso de recarga, es garantizar los movimientos, para lo cual se verifica la presión suficiente sobre el circuito hidráulico.

El cálculo de presión que ejerce el fluido sobre la tubería, es diferencial, por lo que se necesita un sensor que mida la presión manométrica (manómetro).

La selección del manómetro, se realiza de acuerdo a la Tabla 3-7. (Torres, 2013)

Tabla 3-7.
Sensores de presión para la tubería del sistema de recarga

Tipo de sensores de presión	Rango de medida > 70 [bar]	Medida sobre líquidos	Transmisor eléctrico	Grado de protección $> IP67$
Mecánicos	✓	✓	✓	✓
Electromecánicos			✓	
Neumáticos		✓		✓
Electrónicos			✓	✓

Solo el sensor de tipo mecánico, es capaz de soportar la presión de 70 [bar], que es la presión de operación máxima, sin embargo el electromecánico se acerca a la presión de operación nominal (55 [bar]), pero no posee la capacidad de realizar su medida sobre líquidos, ya que los componentes eléctricos quedarían expuestos.

El circuito hidráulico opera en un intervalo de presiones, pudiendo medirse de dos maneras:

1. Con un manómetro analógico.- Introduciendo la variable analógica dentro del controlador, y estableciendo el intervalo de operación.
2. Con un interruptor de presión manométrica.- Ajustando la histéresis de presión, para utilizar una variable discreta a la entrada del controlador, que indique la correcta presión del sistema.

Es suficiente un sensor que brinde una señal discreta cuando mide la presión fuera de ciertos límites, en lugar de un sensor que transmita una señal analógica.

Por estas razones el sensor más adecuado es el interruptor de presión manométrica (con funcionamiento mecánico), ya que permite identificar fácilmente (con una señal discreta), si el circuito hidráulico se encuentra operando dentro del intervalo de presiones permitido.

Este sensor de presión debe cumplir las siguientes características

- Tipo interruptor de presión
- Rango de operación hasta 70 [bar] (1015 [psi])
- Presión de operación ajustable a 55 [bar] (798 [psi])
- Histéresis de presión ± 10 [bar] (145 [psi])
- Debe poseer un contacto NA
- Señal de operación de 20 [V] a 28 [V]
- Grado de protección \geq IP54
- Temperatura de operación $> 35^\circ$ C

3.3.4 Nivel de aceite en el reservorio

El reservorio de aceite con capacidad de almacenamiento de 49.6 [l], y de altura 31 [cm], necesita contener por lo menos $\frac{3}{4}$ de su capacidad,

mediante un sensor capacitivo se puede saber cuándo este necesita ser llenado, para evitar problemas sobre la bomba hidráulica.

La selección del sensor capacitivo se realiza de acuerdo a la Tabla 3-6, ya que es el sensor ideal para detectar nivel de un fluido, ubicado de forma rasante sobre este.

Entonces, según la instrumentación, se mide 12 señales digitales a la entrada del controlador:

- 5 señales digitales para medir la posición de la recargadora
- 2 señales digitales para asegurar la recargadora sobre el chasis
- 1 señal digital para el Interruptor Principal
- 1 señal digital para alinear el Paquete Guía 90° en dirección
- 1 señal digital para alinear el Paquete Guía 0° en elevación
- 1 señal digital para alinear el Paquete Guía 180° en dirección
- 1 señal digital para medir la correcta presión de operación

3.4 Control desde el tablero principal

La recargadora del RM-70 se debe controlar desde el tablero (respaldo) de manera independiente del controlador de pantalla (principal), para en caso de falla de este segundo controlador, el vehículo continúe con la recarga de cohetes desde el tablero.

Se puede resumir (con respecto al anterior capítulo “Modos de Funcionamiento”), que el funcionamiento original requiere de la carga paso-a-paso de los cohetes (4 primeros pasos) y la recarga automática de los cohetes al paquete guía (4 pasos finales). Sin embargo existe también la posibilidad de ejecutar los 8 pasos de manera paso-a-paso.

Una vez analizados los modos de operación originales, se indica el tablero del Sistema de Recarga en la Figura 3-6.

operación; es decir que se puede operar la recargadora tanto por tablero como por pantalla, sin embargo si existiese un mando por ambas vías, se ejecutará el mando desde tablero.

En la Figura 3-7 se presenta un diagrama de flujo del modo de funcionamiento por tablero, con los modos manual y automático como se lo hacía originalmente.

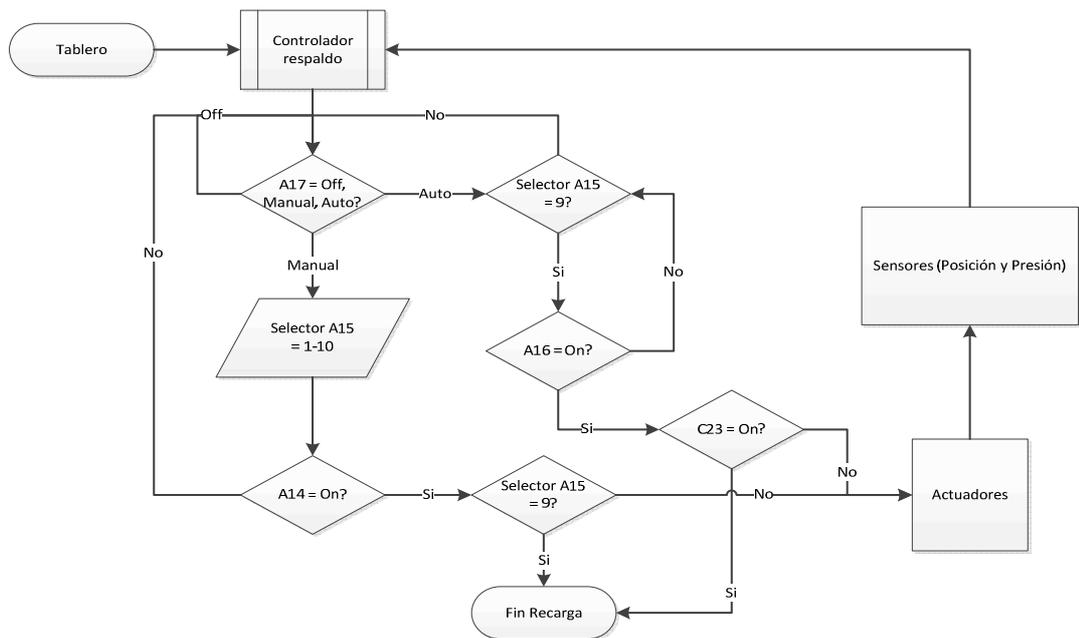


Figura 3-7. Diagrama de flujo para el mando desde el tablero principal

Si en cambio se desea el modo de funcionamiento “indistinto”, se coloca el bloque de decisión lógica OR al final del proceso de control como muestra la Tabla 3-9.

Tabla 3-9. Prioridad de decisión del tablero sobre la pantalla

Tablero	Pantalla	Señal al actuador
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

En la Figura 3-8 se presenta un diagrama de flujo del modo de funcionamiento “indistinto”.

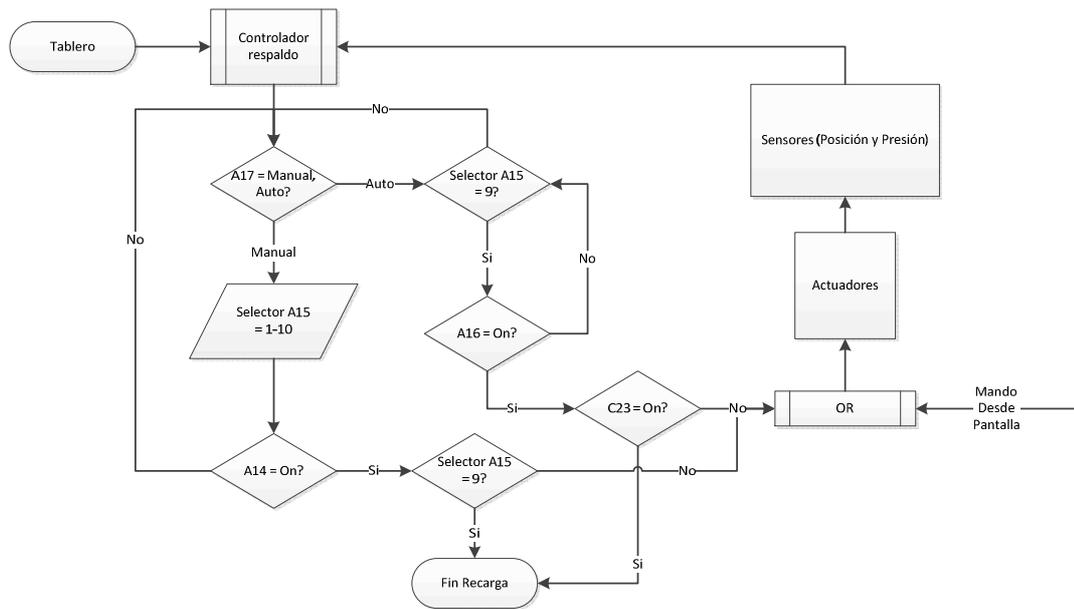


Figura 3-8. Diagrama de flujo alternativo para el mando desde el tablero principal

El modo de funcionamiento indistinto (Figura 3-8 y Tabla 3-9) puede generar confusiones, ya que permite manipular la recargadora de manera indistinta entre pantalla y tablero, dificultando saber quien ejerce la acción final (pantalla o tablero); Por tanto la Tabla 3-8 muestra el funcionamiento más acertado para el Control desde el tablero principal.

A pesar de que el tablero posee todos los mandos de control, no permite supervisar el proceso desde el mismo sitio de control, para ello se adiciona una pantalla con los mismos mandos del tablero y un nivel de supervisión.

3.5 Control desde pantalla y diseño de la interfaz gráfica de recarga

El mando desde pantalla se basa en el esquema del tablero (Figura 3-6), incluyéndose información adicional.

En la Figura 3-9 se muestran los mandos desde pantalla cuando se decide utilizar el modo de operación semejante al tablero (por pasos). Esta forma de operación tiene la ventaja que su lógica de control (Figura 3-10) es muy parecida a la operación por tablero.

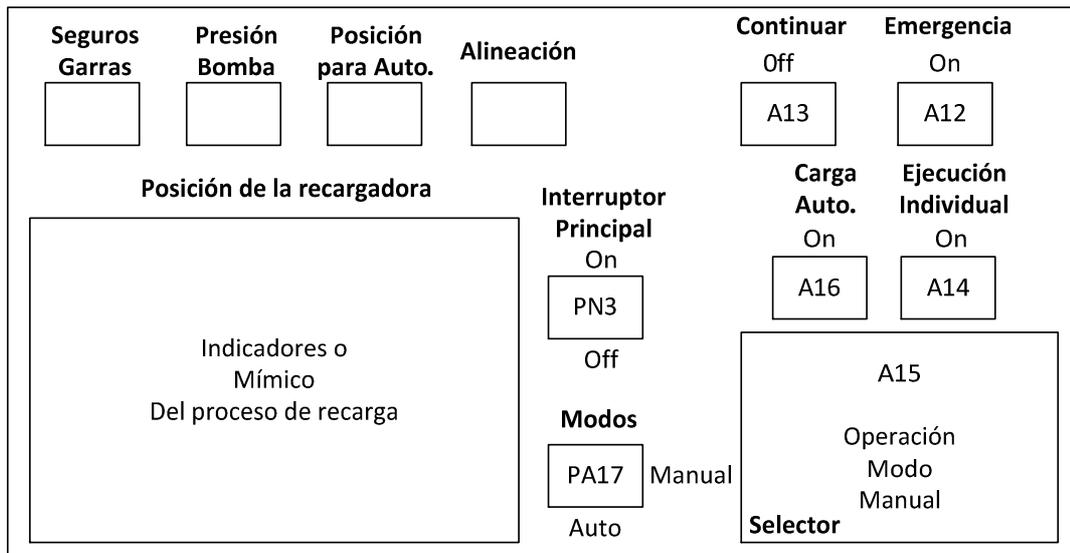


Figura 3-9. Esquema de mandos en la pantalla del vehículo (pasos)

- PN3 es un indicador de A17 (Interruptor de control del tablero), si se escoge el diseño de funcionamiento original (Figura 3-7). En la Tabla 3-10 se muestra las condiciones de habilitación de mandos desde pantalla:

Tabla 3-10.
Acción del Indicador principal de pantalla PN3

A17 Tablero	PN3 Pantalla
Cargando	Encendido
Paso	Apagado
Auto	Apagado

- PN3 será interruptor principal sólo si se escoge el diseño de funcionamiento indistinto (Figura 3-8).

En ambos casos PN3 es el que habilita la ejecución del Controlador principal. Por esto en los diagramas de flujo (Figura 3-10, Figura 3-12) se hace referencia a PN3 como habilitador del proceso, sin embargo, debe tomarse en cuenta que en el primer caso PN3 es un indicador, y en el segundo caso PN3 es un interruptor.

A continuación se muestra el diagrama de flujo de funcionamiento por pasos (del esquema de la Figura 3-9).

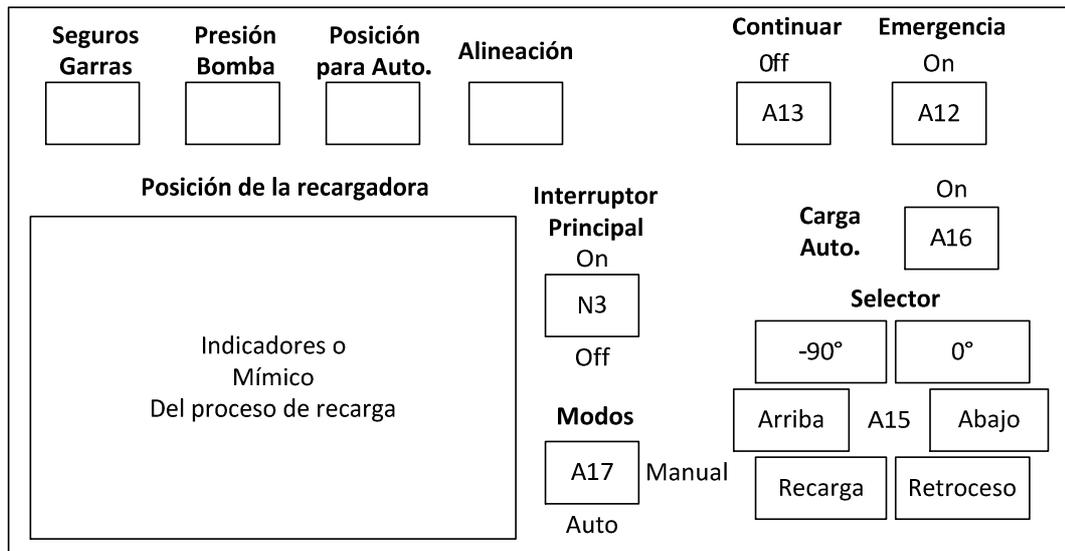


Figura 3-11. Esquema de mandos en la pantalla del vehículo (movimientos)

A continuación se muestra el diagrama de flujo de funcionamiento por movimientos de la Figura 3-11; PN3 tiene las mismas condiciones de operación que en la Figura 3-9.

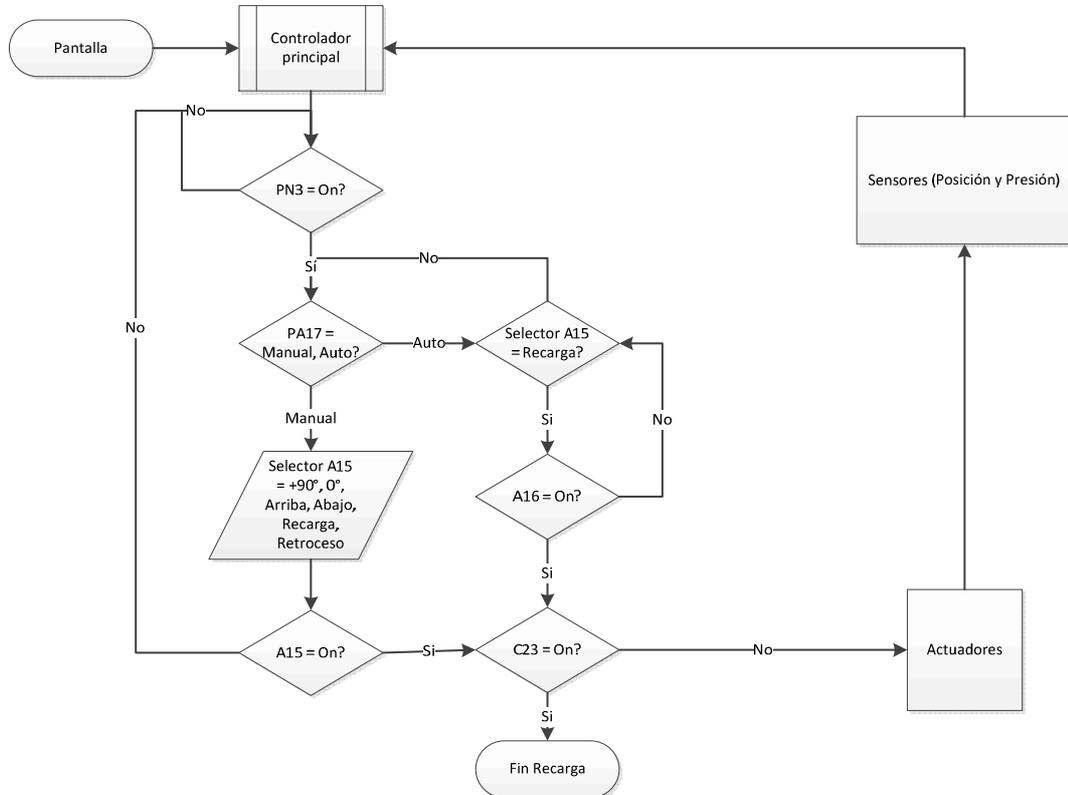


Figura 3-12. Diagrama de flujo para el mando desde el pantalla (movimientos)

Entre la Figura 3-9 y la Figura 3-11 se ha cambiado el selector de pasos por botones de movimientos, estos botones hacen más intuitiva la operación manual, sin embargo el vehículo es operado sólo por personal autorizado y bajo un procedimiento, consecuentemente el esquema de la Figura 3-9 es el más acertado; además el tablero es un respaldo en el funcionamiento del Sistema de Recarga, por este motivo la lógica de la Figura 3-10 es la mejor opción.

La pantalla a utilizar para el esquema de la Figura 3-9, debe cumplir los siguientes requisitos:

- Tipo táctil o con periféricos
- A color y tamaño ≥ 6 [in]
- Procesador > 1 [KHz]²⁴
- Fuente de alimentación 21 [V] a 28 [V]
- Cantidad de ventanas programables > 20
- Comunicación Ethernet modbus
- Puerto de programación Ethernet
- Grado de protección $\geq IP54$
- Temperatura de operación $> 35^{\circ}C$
- Humedad de operación $> 96\%$

Una vez conocido la forma de operación (por pantalla y tablero) de la recargadora, las señales de control hacia los actuadores, y las señales de medición, se identifica el tipo de controlador a utilizar.

3.6 Selección del controlador

El mando desde tablero necesita un controlador, y el mando desde pantalla necesita de otro controlador por separado (como se ve en la Figura 3-13); si el controlador principal falla, el respaldo debe permitir realizar los pasos para la recarga.

²⁴ Mismo requisito del controlador principal, ya que operan en conjunto

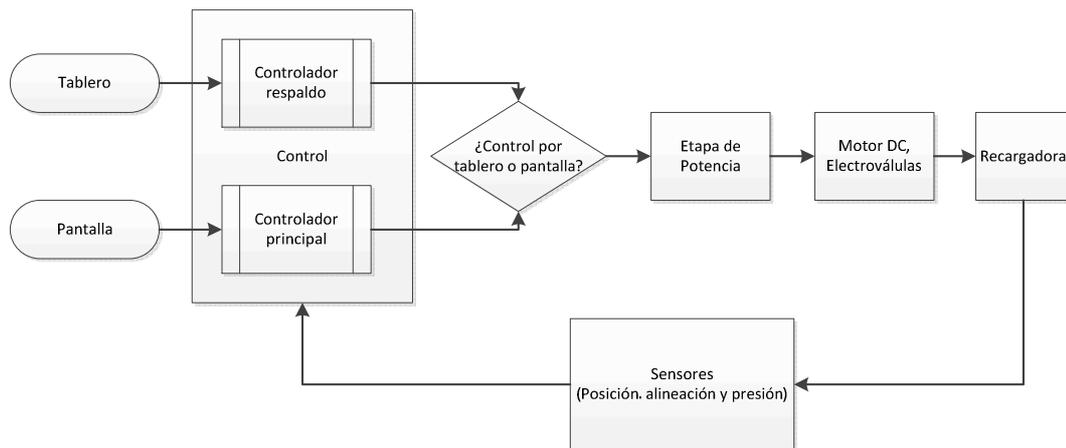


Figura 3-13. Diagrama de control del sistema de recarga

Para identificar que controlador utilizar, se analiza las formas generales de controlar un proceso, que se las puede dividir en dos secciones:

- Formas de control cableada.- Cuya principal ventaja es su robustez y manejo de alta potencia (eléctrica y mecánica), ideal para el mando desde el tablero principal.
- Formas de control programada.- Cuya principal ventaja es su flexibilidad para el diseño de control, ideal para el mando desde pantalla.

Para la selección adecuada de cada controlador se verifica las características de cada una de las dos secciones, de tal manera que se halle cual es la más óptima a aplicar:

Los dos controladores deben cumplir con algunas exigencias, entre ellas.

1. Puede alimentarse desde las baterías con +24 [V] DC ó desde el generador con 120 [V] AC.
2. Debe funcionar adecuadamente en ambientes hostiles, principalmente:
 - a. Polvo.- Debe ser capaz de soportar tormentas de polvo.
 - b. Agua.- Principalmente protección contra lluvia.

- c. Vibraciones.- Debe funcionar ante las vibraciones provocadas por el movimiento de la recargadora y de sus operarios en el vehículo.
- d. Ambiente.- Temperatura hasta 35°C, humedad de 96%. (EXA, 2015)

Protección contra polvo, agua y viento se pueden ayudar de una caja metálica.

- 3. Debe poseer protección contra interferencia electromagnética EMI (provocada por los instrumentos de telecomunicaciones en el vehículo, conmutación de las electroválvulas, disparadores)

La primera sección (control cableado) es la más adecuada para el primer controlador, ya que se necesita de un sistema robusto antes que flexible; en la Tabla 3-11 se muestran formas de control cableada para el primer controlador.

Tabla 3-11.
Parámetros de selección para el control por tablero

Parámetros de selección	Manejo de alta potencia	Robustez	Control a distancia	Diseño simple	Mantenimiento simple	Inmune a EMI
Sistema digital			✓	✓		
Sistema analógico	✓		✓		✓	
Contactores	✓	✓	✓		✓	✓
Manuales		✓		✓	✓	✓
Neumáticos/Hidráulicos	✓	✓	✓			✓
Mecánicos	✓	✓				✓

Se puede observar en la Tabla 3-11 que la selección ideal para el mando desde tablero es el control mediante contactores, que deben cumplir los siguientes requisitos:

- Tipo contactor o relevador
- Señal de control de 21 [V] a 28 [V]
- Señal de operación de 6 [A], 24 [V]
- Cantidad de contactos NA 31
- Cantidad de contactos NC 17
- Grado de protección \geq IP44
- Temperatura de operación $> 35^{\circ}\text{C}$
- Humedad de operación $> 96\%$

Ambos controladores deben cumplir las tres primeras exigencias, sin embargo el mando desde pantalla requiere un controlador flexible, por lo cual es ideal la segunda sección (control programado); las exigencias adicionales que debe cumplir este controlador para el mando desde pantalla son:

4. Debe tener al menos 12 entradas discretas de +24 [V] DC, 9 salidas discretas +24 [V] DC inmune a la EMI, 1 entrada analógica 0-24[V] DC, comunicación por protocolo Ethernet ó RS232.
5. Canal de comunicación para red de toma múltiple, puede utilizarse RS-422 que posee la capacidad de red de 1 maestro y varios esclavos.
6. El controlador utilizará la memoria de datos:
 - a. 1 entrada analógica: 1x16 [bits]
 - b. 12 entradas discretas: 12 [bits]
 - c. 9 salidas discretas: 9 [bits]
 - d. 5 variables flotantes: 5x16 [bits]
 - e. 50 variables discretas: 50x1 [bits]
 - f. 8 timers: 8x16x3 [bits]
 - g. 3 counters: 3x16x3 [bits]

Total 85. 875 [bytes], aproximadamente se consumirá 100 [bytes] en memoria de datos.

7. El controlador no utilizará más de 60 líneas de código de programa (600 líneas de código simples aproximadamente 1 [Kbyte]); por tanto se consumirá al menos 0.1 [Kbytes] de memoria de programa.
8. El tiempo de scan debe permitir detener a la recargadora cuando se ha llegado a cierta posición en tiempo < 10 [ms] y controlar correctamente la conmutación de las electroválvulas en tiempo < 20 [ms]; por tanto, el procesador deberá ser superior a 0.1 [KHz], para esto el tiempo de scan debe ser menor a 10 [ms].

La segunda sección para el mando desde pantalla, debe cumplir estos cinco puntos (del 4 al 8) adicionales; en la Tabla 3-12 se muestran los parámetros de selección para el Controlador principal.

Tabla 3-12.
Parámetros de selección para el control por pantalla

Parámetro de selección	Red de com.	Ro_buz_tez	Lenguaje código sencillo	E/S > 16	Mem. Libre > 1 [Kbyte]	Proc. > 1 [KHz]	Inmune a EMI
μP				✓		✓	
μC	✓			✓		✓	
PLC	✓	✓		✓	✓	✓	✓
CtrlDs. digitales		✓	✓				✓
PC Indus_ triales	✓	✓			✓	✓	✓
VLSI o FPGA	✓			✓	✓	✓	
DAQ	✓	✓	✓		✓	✓	✓

Se puede observar en la Tabla 3-12 que la selección ideal para el mando desde pantalla es el control mediante PLC, ya que el número de E/S es un parámetro muy importante en la selección.

Los controladores lógicos programables (PLC) se dividen en tres gamas de acuerdo a capacidad de memoria, velocidad de procesamiento (se

detalla en el ANEXO A.8) y cantidad de E/S; en la Tabla 3-13 se selecciona la gama a utilizar.

Tabla 3-13.
Selección de gama del PLC

Caract. PLC	# Máximo E/S	Mem. Datos [Byte]	Mem. Prog. [Byte]	Proc. [KHz]	Observaciones
Nano	16	64	256	0.33	Gama baja Potencia limitada
Compacto	256	512	16K	0.42	Gama media Separa E/S del autómata
Modular	2048	32K	4M	0.55	Gama alta Módulo para c/elemento de E/S

De acuerdo a la Tabla 3-13 un PLC compacto (Figura 3-14) es suficiente para controlar el proceso de recarga desde pantalla.

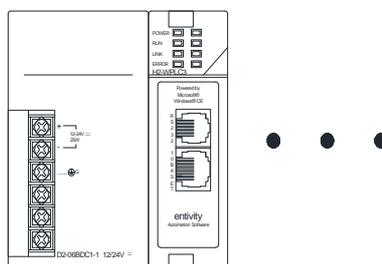


Figura 3-14. Controlador principal para la Recarga

Este PLC debe cumplir los siguientes requisitos:

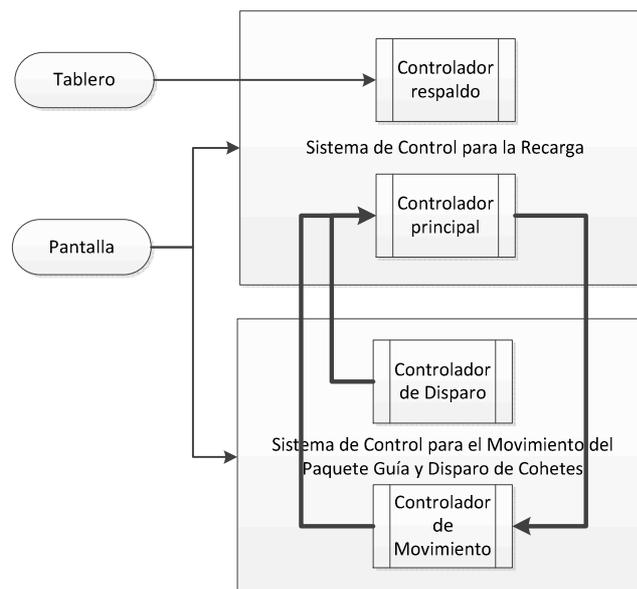
- Gama: compacto o modular
- Procesador > 1 [KHz]
- Memoria de programa > 1 [Kbyte]
- Memoria de datos > 100 [byte]
- Red Ethernet o RS422 o modbus
- Cantidad de entradas discretas 12 (23 – 28 [V] DC)
- Cantidad de salidas discretas 9 (24 [V] DC, 6 [A] c/u)
- Fuente de alimentación 24 [V] DC

- Grado de protección \geq IP54
- Temperatura de operación $> 35^{\circ}\text{C}$
- Humedad de operación $> 96\%$

Finalmente se necesita comunicar²⁵ el controlador principal de la recargadora con el controlador ya implementado (para transferir datos útiles en el proceso), a través de una red de comunicación.

3.7 Comunicación entre el controlador principal de recarga y el implementado

Se encuentran ya implementados, el control digital de tiro, y movimiento automático del paquete guía; el proceso de recarga opera bajo ciertas condiciones del disparo y movimiento del paquete, por lo cual debe existir una comunicación entre ellos, como se muestra en la Figura 3-15.



**Figura 3-15. Diagrama de comunicación entre:
Controlador para la Recarga y Controlador Disparo-Movimiento**

En la Figura 3-15 se muestra que el Controlador respaldo (mando desde tablero) no se comunica²⁶ con el resto de sistemas en el vehículo; en cambio el Controlador principal establece comunicación unidireccional con

²⁵ La ausencia de espacio físico genera la imposibilidad de adicionar la lógica de recarga, al controlador ya implementado.

²⁶ Debe encontrarse separado de los demás sistemas para servir como respaldo.

el Controlador de Disparo, y bidireccional con el Controlador de Movimiento.

3.7.1 Comunicación bidireccional Controlador Recarga-Movimiento:

Existe dos condiciones para el movimiento de la recargadora de acuerdo a la posición del paquete guía:

1. Para el proceso de carga, se necesita que el paquete guía se ubique 90° en dirección y 0° en elevación, como indica la Tabla 3-5.
2. Para la recargadora, se necesita que el paquete guía se ubique 180° en dirección y 0° en elevación, como indica la Tabla 3-5.

El proceso de recarga necesita de la posición del paquete guía, por esto debe existir una comunicación bidireccional entre el Controlador principal y el Controlador de Movimiento, de tal manera que el sistema de recarga pueda obtener datos de la ubicación actual del paquete guía, y comandar su movimiento según lo necesite.

3.7.2 Comunicación unidireccional Controlador Recarga-Disparo:

Existe una condición para el movimiento de la recargadora de acuerdo al disparo de cohetes.

El proceso de recarga necesita saber cuántos cohetes restan en el paquete guía (luego del disparo), para esto una comunicación unidireccional es suficiente, de tal manera que el Controlador de Disparo indique al Controlador principal la cantidad de cohetes restantes en el paquete.

El proceso de recarga necesita de los datos de la Tabla 3-14:

Tabla 3-14.

Datos inter-sistemas requeridos para el proceso de recarga

Controlador principal	Datos Enviados	Datos Recibidos
Controlador de Movimiento	SP de elevación y dirección	PV de elevación y dirección
Controlador de Disparo		Número de cohetes restantes

Debido a la necesidad de comunicación entre los sistemas del vehículo, se propone algunas alternativas de conexión entre dispositivos, tomando en cuenta las conexiones ya realizadas sobre el controlador ya implementado, como se muestra en la Figura 3-16.

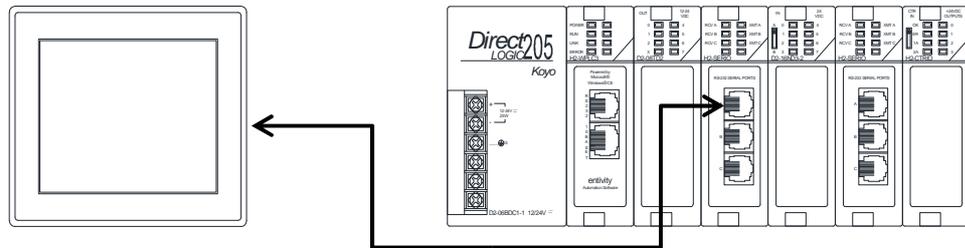


Figura 3-16. Comunicación Pantalla - Sistema de Control Implementado

De acuerdo a esto se tiene algunas alternativas de comunicación:

3.7.3 Controlador principal – Controlador implementado

Se propone comunicar directamente (Figura 3-17) estos dos controladores, creando una conexión serial Half-duplex, con protocolo RS232.

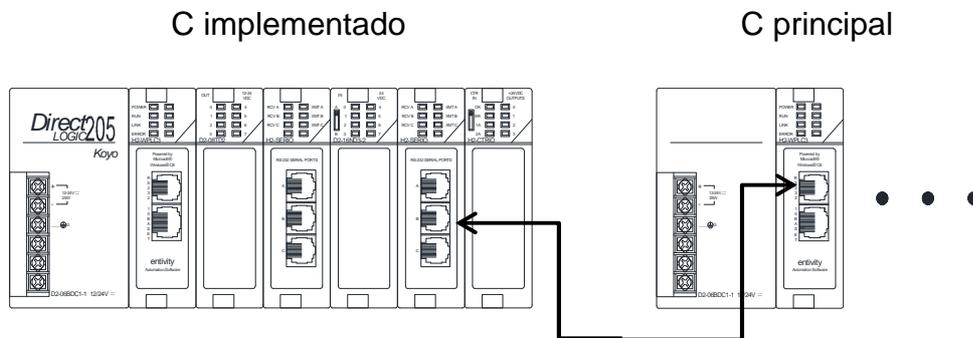
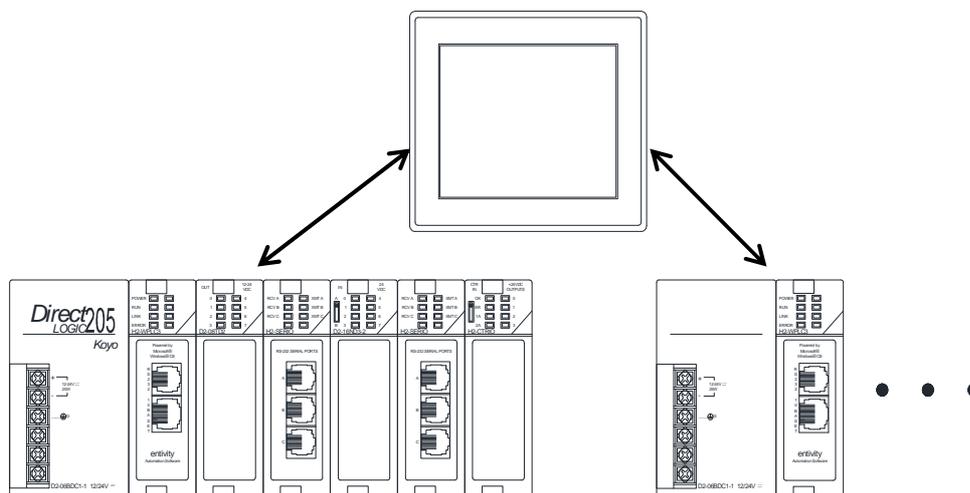


Figura 3-17. Red de Comunicación: SC Implementado - SC recargadora

Esta es una forma de red punto-punto, ningún Sistema de Control tiene prioridad sobre el otro, es decir que se obtiene un control distribuido.

3.7.4 Controlador principal – Pantalla –Control implementado

Aquí se propone comunicar indirectamente (Figura 3-18) estos dos controladores, creando una conexión Half-duplex con protocolo RS232 o Ethernet.



**Figura 3-18. Red de Comunicación:
SC Implementado - Pantalla - SC recargadora**

Esta forma de comunicación utiliza la pantalla para crear la red entre los controladores, la pantalla es el maestro de la red y los controladores los esclavos, es decir que se obtiene un control centralizado.

La información de cada controlador se transmite hacia la pantalla, de esta manera la pantalla gestiona la información, y entrega los datos al control que lo necesite.

Las formas de conexión de los dos controladores hacia la pantalla pueden ser por diferente protocolo (Figura 3-19):

a) *RS232, RS232*

Ambos controladores se comunican de forma serial, sin embargo la pantalla no puede juzgar a quién corresponde la información, ya que no diferencia a cada esclavo de la red.

b) *Ethernet, Ethernet*

Ambos controladores se comunican por protocolo Ethernet asignando una dirección IP distinta a cada controlador, la velocidad de transferencia de datos (10 [Mbps] LAN) es superior a RS232 (38.4 [Kbps]), y la distancia entre equipos (100 [m] Cable UTP categoría 5e) es mayor a RS232 (15 [m]). Este tipo de comunicación necesita un conmutador (switch) o encaminador (router), que cumpla las mismas exigencias ambientales que el controlador. Se puede asignar una dirección IP a la pantalla. (Ibarguren, 2013)

c) *Ethernet, RS232*

Se la puede llamar una red de comunicación híbrida que mantiene el protocolo de comunicación RS232 con el controlador implementado, y adiciona una comunicación Ethernet al controlador principal. No necesita de dispositivos electrónicos adicionales para la red. Se puede asignar una dirección IP a la pantalla.

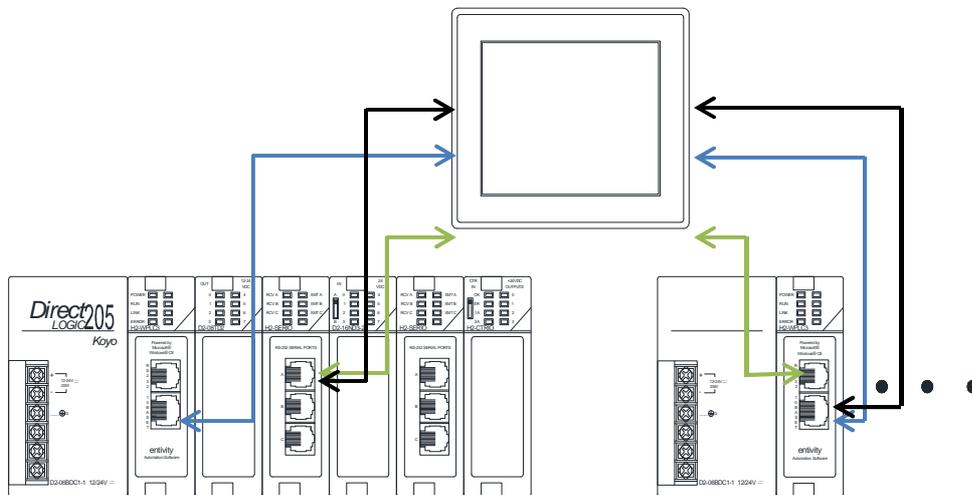


Figura 3-19. Red de Comunicación: a (Verde), b (Azul), c (Negro)

La comunicación Controlador principal – Control implementado, obliga a que toda la información del controlador principal (que es presentada en pantalla) se transmita por el controlador implementado²⁷, por esto la

²⁷ Aumenta innecesariamente la actividad de procesamiento, pudiendo conducir a un fallo repentino.

comunicación Controlador principal – Pantalla –Control implementado es la más conveniente.

La opción “c” *Ethernet, Serial* aprovecha la conexión ya realizada, y permite mantener intactos (sin ningún cambio tanto en hardware como en software) los equipos ya conectados, sin embargo la comunicación serial RS232, solo permite establecer una red punto-punto y 15 [m] entre dos dispositivos²⁸. Por esta razón se utiliza la opción “b” *Ethernet, Ethernet*, que brinda alta escalabilidad al sistema, y fácil acceso al código de programa (de cualquier controlador) desde un solo punto; además debe cumplir los siguientes requisitos:

- Comunicación por protocolo Ethernet
- Topología de red en estrella
- Comunicación Half-Duplex
- Protección contra interferencia electromagnética
- Rango de mando aproximado ≥ 90 [m]
- Velocidad de transferencia de datos ≥ 10 [Mbps]
- Utiliza un conmutador de red

²⁸ Este problema sería solucionado con un módulo o CPU de conexión serial RS422/485 que permite un maestro y varios esclavos hasta una distancia de 1000 [m]; El CPU H2-WPLC no posee esta característica de comunicación, ya que no permite configurar la dirección de red serial en la parte posterior.

4 CAPÍTULO IV

INGENIERÍA DE DETALLE DEL SISTEMA DE RECARGA MODERNIZADO

En este capítulo se elige los elementos electrónicos, que cumplen con los requisitos del diseño realizado en Ingeniería Básica, y se describen sus diagramas de alambrado.

La distribución de este capítulo es semejante a Ingeniería Básica, comienza con la conexión de los elementos de potencia elegidos (en “4.1 Detalle de la etapa de potencia”), posteriormente se muestra la conexión de la instrumentación elegida (en “4.2 Detalle de la Instrumentación”), a diferencia de Ingeniería Básica, primero se muestra la elección del PLC y relevador para realizar el control (en “4.3 Detalle de los controladores”), y luego se indica la conexión de los relevadores para el mando desde tablero (en “3.4 Detalle del controlador respaldo”), y la conexión del PLC para el mando desde pantalla, con el modelo de la ventana (interfaz gráfica) de recarga (en “4.5 Detalle del controlador principal e interfaz gráfica”).

Finalmente se detalla la arquitectura de la red de comunicación, con el conmutador elegido (en “4.6 Detalle de la red de comunicación entre sistemas”), y la conexión de los elementos de protección elegidos (en “4.7 Detalle de los elementos de protección”).

4.1 Detalle de la etapa de potencia

En Ingeniería Básica se seleccionó el diseño de la etapa de potencia mediante contactores, para el motor DC se utiliza los originales del vehículo y para las electroválvulas es suficiente el módulo de salidas a relé²⁹ F2-08TRS.

A continuación se detalla el circuito de potencia para el motor DC y las electroválvulas.

²⁹ Se detalla más adelante en la elección del PLC para el controlador principal

4.1.1 Motor DC de la recargadora

Estos contactores originales (Figura 4-1) soportan cerca de 80 [A] en tiempo estable, y 190 [A] en el arranque, por lo que cumplen el diseño del circuito de potencia en Ingeniería Básica.

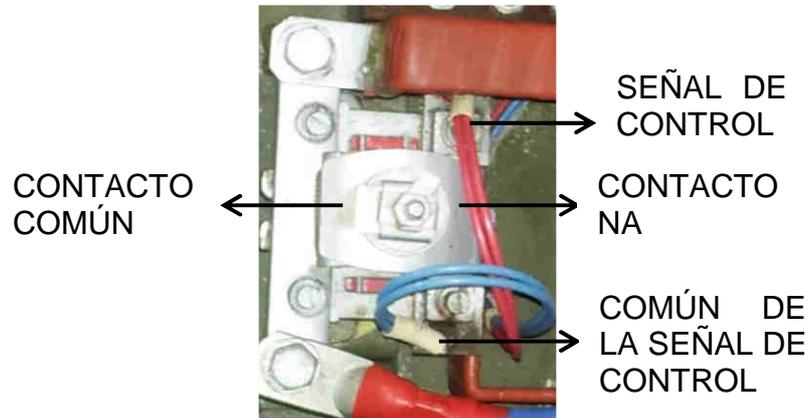


Figura 4-1. Contactor original para el motor DC

El diseño de Ingeniería Básica se logra a través del diagrama de alambrado de la Figura 3-3.

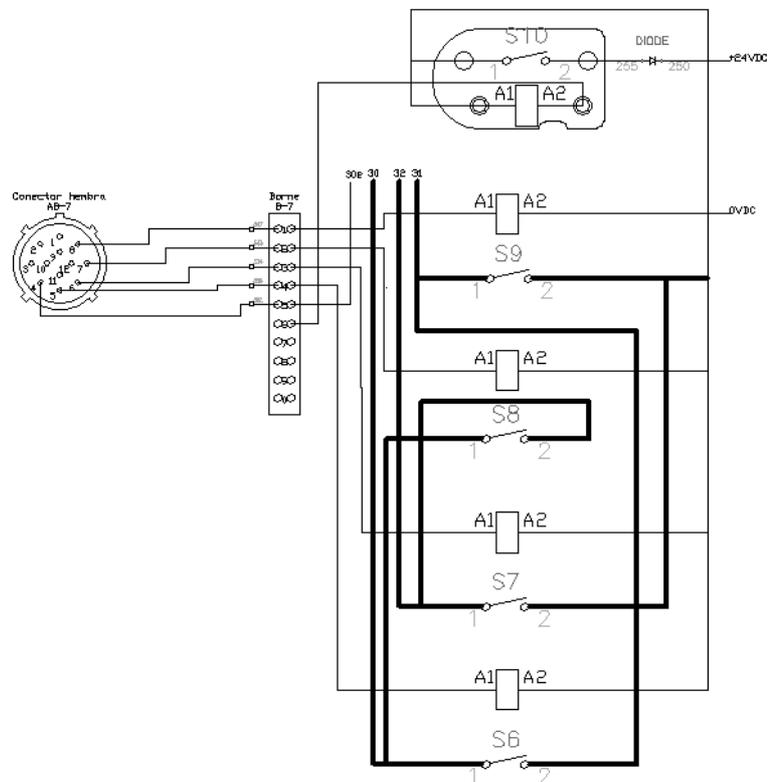


Figura 4-2. Alambrado del motor DC (para giro horario y anti-horario)

Para girar en sentido horario se activan solo tres contactores (S6, S7 y S10):

- El contactor S6 conecta el terminal 30 con el terminal 31 mediante cable 3/0 AWG
- El contactor S7 conecta el terminal 32 a 0 VDC mediante cable 3/0 AWG
- El contactor S10 conecta el terminal 30e a +24 VDC mediante cable 14 AWG

Para girar en sentido anti-horario se activan solo tres contactores (S8, S9 y S10):

- El contactor S8 conecta el terminal 30 con el terminal 32 mediante cable 3/0 AWG
- El contactor S9 conecta el terminal 31 a 0 VDC mediante cable 3/0 AWG
- El contactor S10 conecta el terminal 30e a +24 VDC mediante cable 14 AWG

4.1.2 Electroválvulas

El módulo de salidas a relé (Figura 4-3) soporta de 12 – 28 [V] DC y hasta 7 [A] por punto (salida), por lo que cumple el diseño del circuito de potencia en Ingeniería Básica.

La elección de este módulo se realiza ya que se dispone de cuatro salidas a relé libres (las señales de control para el motor DC no utilizan todas las salidas del módulo), suficientes para la activación de las electroválvulas.



Figura 4-3. Módulo F2-08TRS para las electroválvulas

El diseño de Ingeniería Básica se logra a través del diagrama de alambrado de la Figura 4-4.

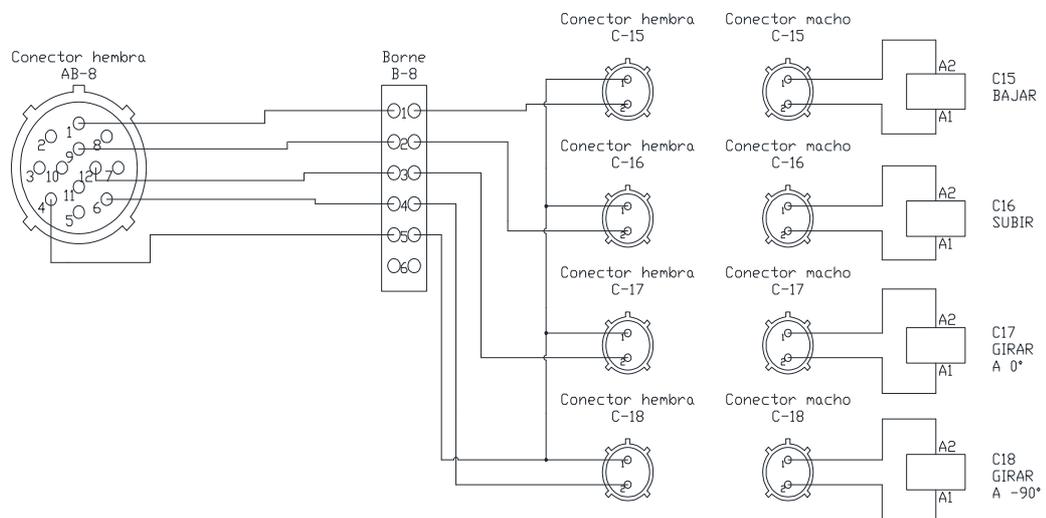


Figura 4-4. Alambrado de las electroválvulas

Se puede ver en la Figura 4-4 que +24 VDC se transmiten por los pines 1, 6, 9, 12 del conector AB-8 y que el terminal A2 de los solenoides se encuentra siempre conectado a masa, a través del pin 4 del conector AB-8; al activarse la salida a relé 0:00 permite el paso de los +24 VDC hacia el

terminal A1 del solenoide de la electroválvula, cerrando el circuito y activando la electroválvula correspondiente.

Los cuatro solenoides de las dos electroválvulas poseen una conexión similar, variando su activación de acuerdo a la lógica de control.

A continuación se detallan los elementos de medición del proceso de recarga.

4.2 Detalle de la Instrumentación

El proceso de recarga cuenta con 7 limitadores de posición, 3 sensores inductivos para alineación de la recargadora con el Paquete Guía, y un manómetro para medir la presión en la tubería.

A continuación se muestra la elección de los limitadores de posición (incluidos los seguros de movimiento), los sensores inductivos, y el manómetro, que cumplen los requisitos de Ingeniería Básica.

4.2.1 Limitadores de posición:

Se eligen los limitadores de posición originales del vehículo (Figura 4-5), ya que cumplen los requisitos de Ingeniería Básica: son de tipo fin de carrera y poseen un contacto NA, además son robustos físicamente (poseen recubrimiento de características industriales).

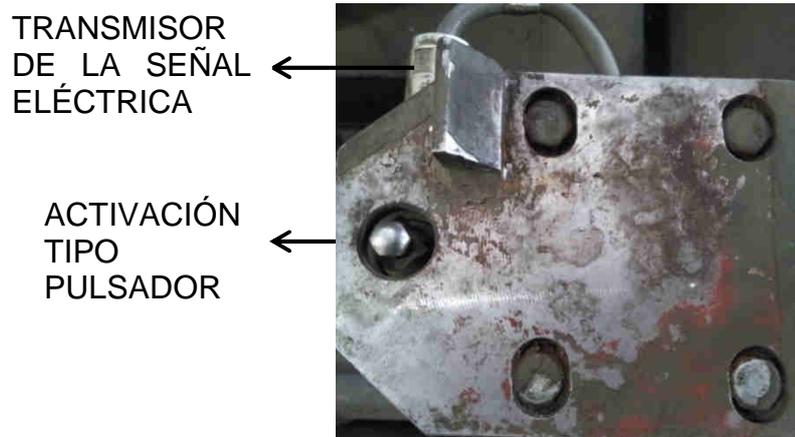


Figura 4-5. Limitadores de posición originales

Existen 7 limitadores, con las características de la Tabla 3-4.

Tabla 4-1.
Limitadores de posición de la recargadora

Cantidad	Sensor	Accionamiento	Tipo
1	C23	Pulsador	NA
1	C37	Pulsador	NA
1	C36	Palanca pulsador	NA
1	C35	Palanca pulsador	NA
1	C38	Palanca pulsador	NA
1	C26	Palanca	NA
1	C24, C25	Garra pulsador	NA

Los limitadores permiten medir la posición de la recargadora, y se conectan al controlador, según el diagrama de alambrado la Figura 4-6.

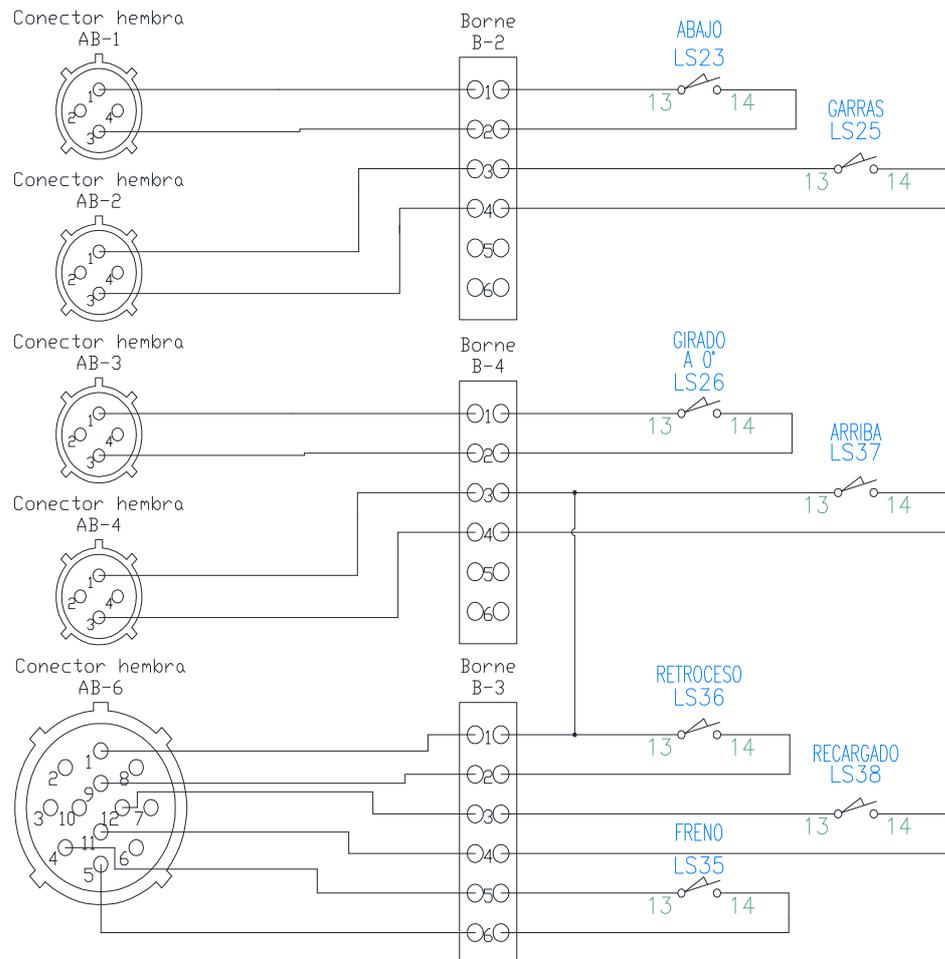


Figura 4-6. Limitadores de posición hacia el control

Se puede ver en la Figura 4-6 que +24 VDC se transmiten desde los bornes B-2 (1, 3), B-4 (1, 3), y B-3 (1, 3, 5), hacia el conector AB-1 (1), AB-2

(1), AB-3 (1), AB-4 (1), AB-6 (1, 4, 12); cuando el contacto NA de cualquier limitador se cierra, +24 VDC se trasladan desde B-2 (2, 4), B-4 (2, 4), y B-3 (2, 4, 6), hacia el conector AB-1 (3), AB-2 (3), AB-3 (3), AB-4 (3), AB-6 (5, 9, 11), y así se activa la señal de entrada correspondiente del controlador.

El dimensionamiento de los sensores inductivos y el manómetro se detallan a continuación.

4.2.2 Sensores inductivos para la alineación:

Se utiliza un mismo tipo de sensor inductivo (Figura 4-7) para las tres posiciones de alineación como se vio en Ingeniería Básica.



Figura 4-7. Sensor inductivo PNM6-AN-4H para alineación (Direct, Inductive sensor, 2015)

El sensor inductivo es PNM6-AP-4H, y cumple los requerimientos de Ingeniería básica, como muestra la Tabla 4-2.

Tabla 4-2.
Comparación de requerimientos del sensor inductivo con PNM6-AP-4H

	Requerimientos	Sensor inductivo PNM6-AP-4H
Diámetro	7 [mm] a 12 [mm]	12 [mm]
Distancia de medición	3 [mm] a 6 [mm]	4 [mm] a 7 [mm]
Contactos	NA	NA, NC
Alimentación	20 [V] a 28 [V]	10 [V] a 30 [V]
Grado de protección	≥IP54	IP65
Temperatura operación	>35°C	-40°C a 85°C
Señal de Operación	20 [V] a 28 [V]	10 [V] a 30 [V] ³⁰

³⁰ El resistor de carga se calcula a partir de la corriente máxima de operación del sensor: $30 [V]=100[mA]*R$, entonces $R=300[\Omega]$

Las conexiones de este sensor hacia el controlador, se muestran en el diagrama de alambrado de la Figura 4-8.

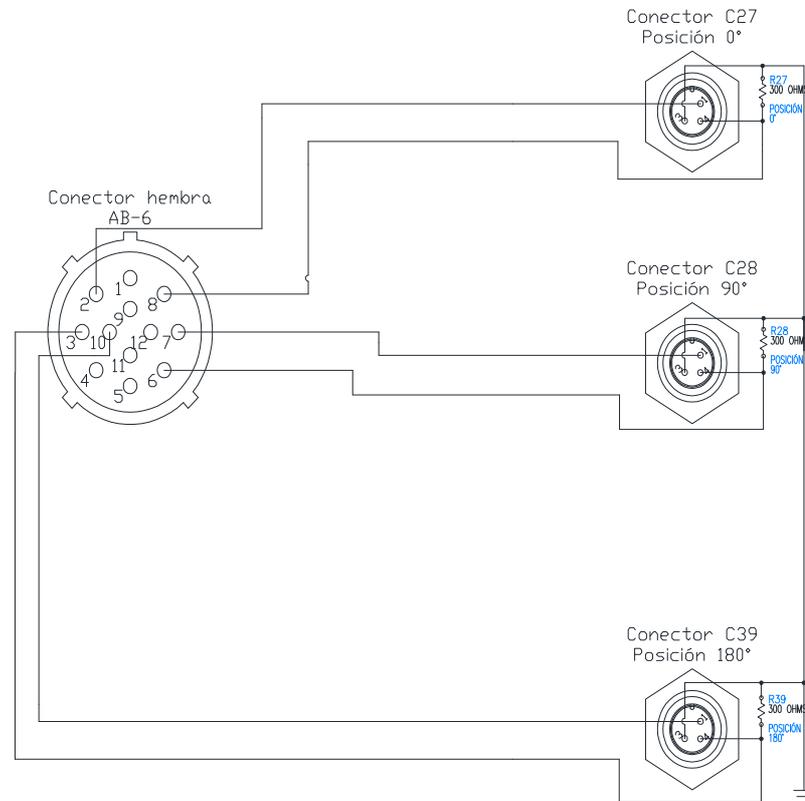


Figura 4-8. Sensores inductivos hacia el control

+24 VDC pasan por los pines 2, 7, 10 del conector AB-6 hacia el pin 1 de cada sensor inductivo, posteriormente cuando el sensor inductivo detecta presencia, la señal retorna por el pin 4 de cada sensor, hacia las entradas correspondientes al controlador. El terminal +0 VDC del sensor inductivo siempre se encuentra conectado a masa sobre su misma ubicación.

La ubicación de cada sensor se indica a continuación.

1. Sensor para 0° en elevación:

Se ubica en un lado de la base (cureña superior) del paquete guía, y es activado por la cuna del paquete guía.

2. Sensor para 90° en dirección:

Se ubica en la parte posterior del vehículo (cureña inferior), y es activado cuando un tornillo de la base (cureña superior) del paquete guía pasa por este punto.

3. Sensor para 180° en dirección

Existe un tope mecánico para 180° en dirección, el sensor se ubica en la barra de acero donde llega este tope, y es activado cuando este tope mecánico indica 180° en dirección.

Las conexiones de los tres sensores se hacen de forma similar, variando su función en la lógica de control.

4.2.3 Manómetro para la bomba hidráulica

Para medir el intervalo de operación (de presiones en la tubería), se utiliza un interruptor de presión manométrica (Figura 4-9), como se vio en Ingeniería Básica.



Figura 4-9. Sensor MPS25-1C-P1000D como interruptor de presión (Direct, Pressure sensor, 2015)

El manómetro a utilizar es un interruptor de presión MPS25-1C-P1000D, y cumple los requerimientos de Ingeniería Básica, como muestra la Tabla 4-3.

Tabla 4-3.
Comparación de requerimientos del interruptor de presión con MPS25-1C-P1000D

	Requerimientos	Interruptor de presión MPS25-1C-P1000D
Rango máximo	Hasta 1015 [psi]	Hasta 1000[psi]
Presión de operación	798 [psi]	Ajustable 100-1000 [psi]
Histéresis	145 [psi]	25-150 [psi] ³¹ (123 [psi])
Contactos	NA	NA, NC
Grado de protección	≥IP54	IP67
Temperatura operación	>35°C	-40°C a 100°C
Señal de Operación	20 [V] a 28 [V]	2 [A], 30 [V]

Su conexión consta de cuatro terminales de salida (Común, NC, NO, Tierra), el terminal común se conecta a +24 VDC, a través del pin 6 del borne B-4 al pin 6 del conector AB-10, y el terminal NO se conecta a la entrada del controlador, a través del pin 7 del conector AB-10 proveniente del pin 3 del borne B-4, como se muestra en el diagrama de alambrado de la Figura 4-10. El terminal 4 del sensor se conecta al pin 6 del borne B-2 y posteriormente al pin 2 del conector AB-10, para proteger el sensor.

³¹ A 798 [psi] (50[bar] operación) el sensor tiene una rango de incertidumbre (1000-798) = (1000-100)/(150-25)*(150-x) igual a 121.94 [psi] (8.4 [bar]).

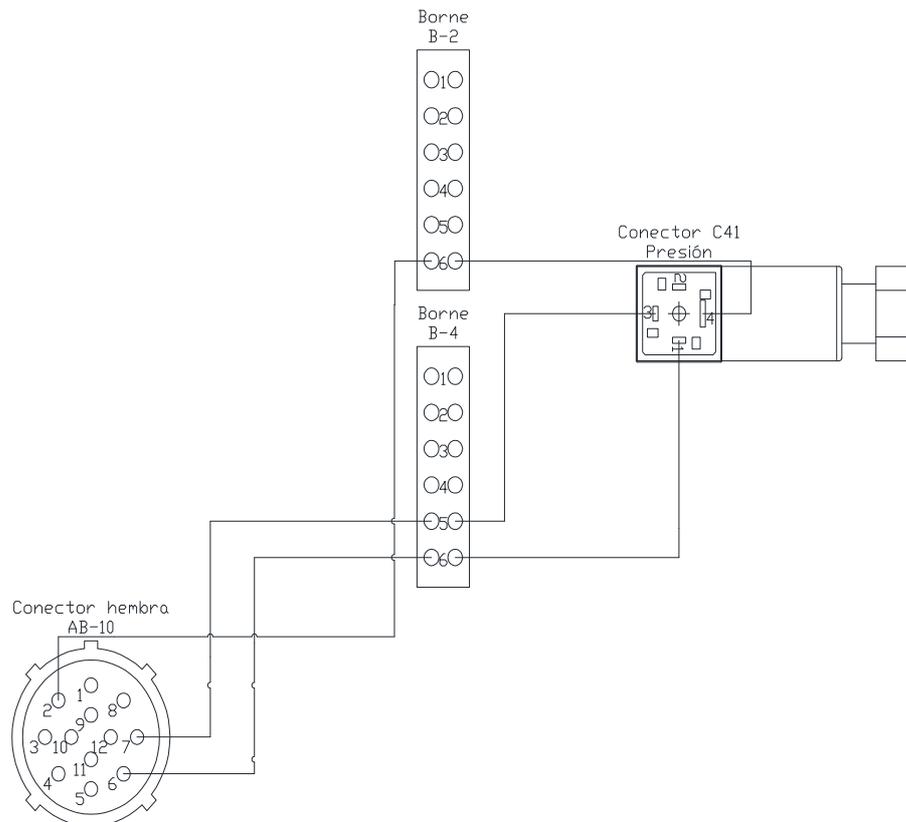


Figura 4-10. Interruptor de presión hacia el control

El terminal de tierra va a la barra de tierra donde se encuentra el controlador.

Ahora se muestra la elección de los controladores, y posteriormente el control desde tablero y pantalla.

4.3 Detalle de los controladores

En Ingeniería Básica se seleccionó, el control mediante contactores/relevadores para el mando desde tablero (respaldo), y el control mediante PLC para el mando desde pantalla (principal).

En el controlador respaldo, se elige relevadores (Figura 4-11).



Figura 4-11. Relevadores 700-TBS24 para el controlador respaldo

El relevador a utilizar es 700-TBS24, que cumple los requerimientos de Ingeniería Básica, como muestra la Tabla 4-4.

Tabla 4-4.
Comparación de requerimientos de relevadores con Allen Bradley 700-TBS24

	Requerimientos	Relevadores Allen Bradley 700-TBS24
Grado de protección	>IP44	IP67
Temperatura operación	>35°C	-40°C a 55°C
Humedad de operación	>96%	95%
# de contactos NA	31	31
# de contactos NC	17	31
Señal de Control	21 – 28 [V] DC	12 - 24 [V] DC
Señal de Operación	6 [A], 24 [V] DC	6 [A], 24 - 250 [V] DC

En el controlador principal, se elige un PLC modular (Figura 4-12).

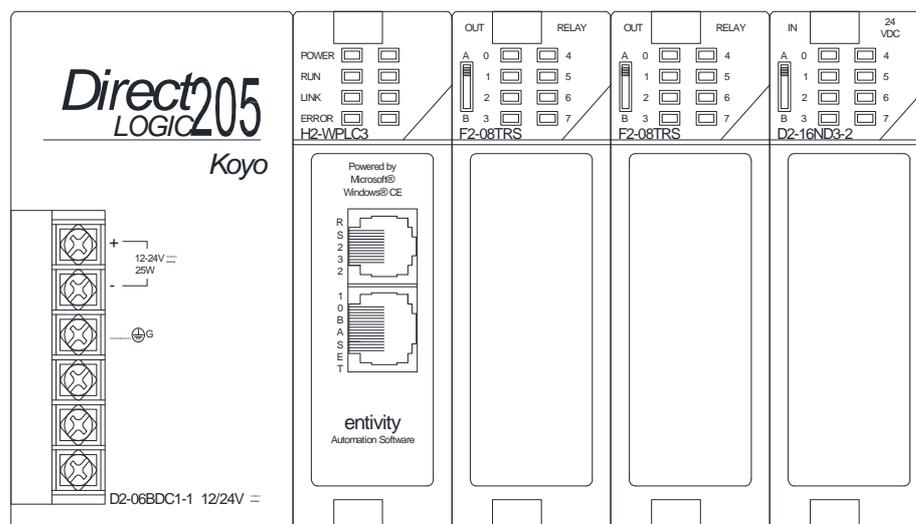


Figura 4-12. PLC Direct Logic 205 Koyo como controlador principal

El PLC modular es Direct Logic 205 Koyo (con CPU H2-WPLC3), que cumple los requerimientos de Ingeniería Básica, como muestra la Tabla 4-5.

Tabla 4-5.
Comparación de requerimientos del controlador principal con PLC Direct Logic (Koyo)

Requerimientos	PLC Direct Logic (Koyo), CPU H2 WPLC3
Fuente de alimentación	+24 [V] DC
Grado de protección	IP32 (con caja IP66)
Temperatura de operación	0 °C a 55 °C
Humedad de operación	0 % a 95 % humedad relativa
Procesador	100 [MHz]
Memoria de Programa	8 [Mbyte] (Flash)
Memoria de Datos	8 [Mbyte] (Ram)
Red	Ethernet ó RS422
Entradas discretas	12 (23 – 28 [V] DC)
Salidas discretas	16 (24 [V] DC, 7 [A] común)

Ya elegidos los elementos electrónicos que ejecutan el control (controladores), se muestra la forma de conexión de ellos, indicado a continuación.

4.4 Detalle del controlador respaldo

Las conexiones del controlador respaldo³² (Figura 4-11), se muestran en el diagrama de alambrado de la Figura 4-13.

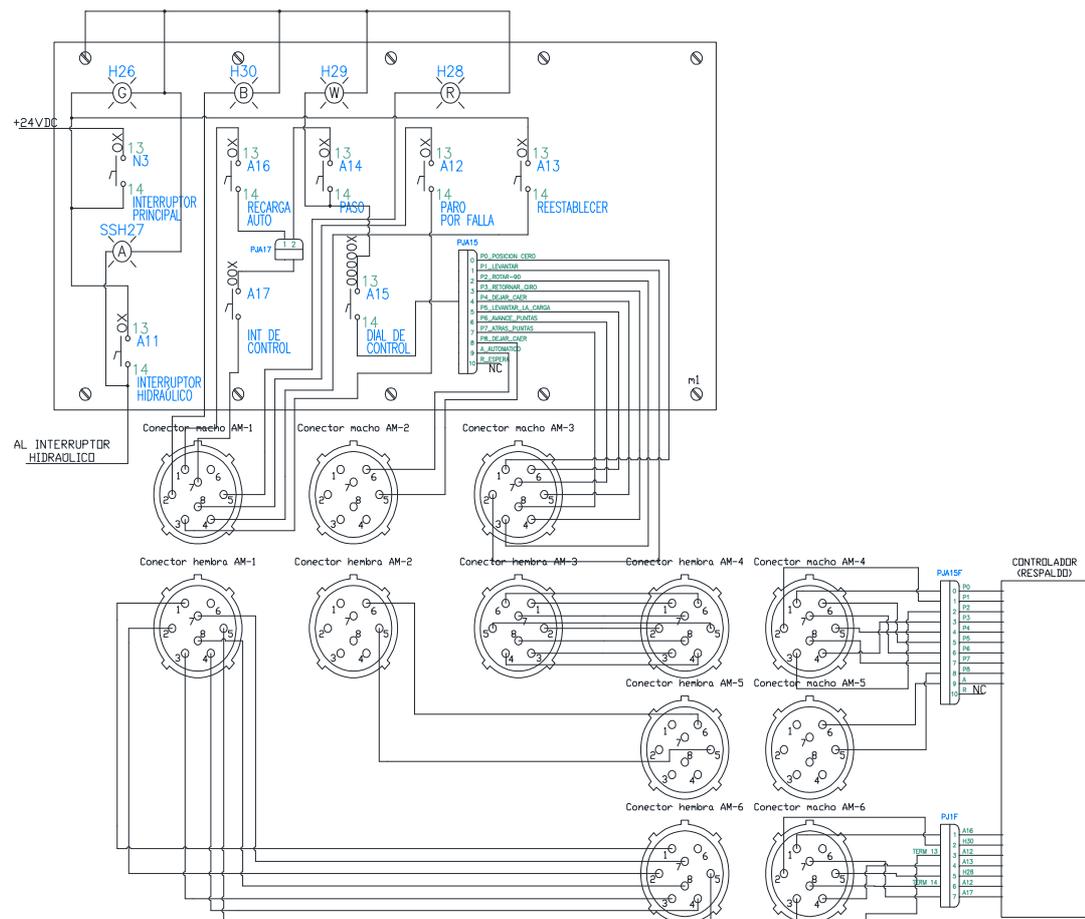


Figura 4-13. Controlador respaldo

El modo de funcionamiento desde pantalla se asemeja los más posible al de tablero, por esto a continuación se relaciona los botones de tablero con los de la interfaz gráfica.

³² El bloque que contiene el controlador propiamente dicho, se encuentra en el ANEXO C.

4.5 Detalle del controlador principal e interfaz gráfica

Las conexiones del controlador principal (Figura 4-12), se muestran en el diagrama de alambrado de la Figura 4-14.

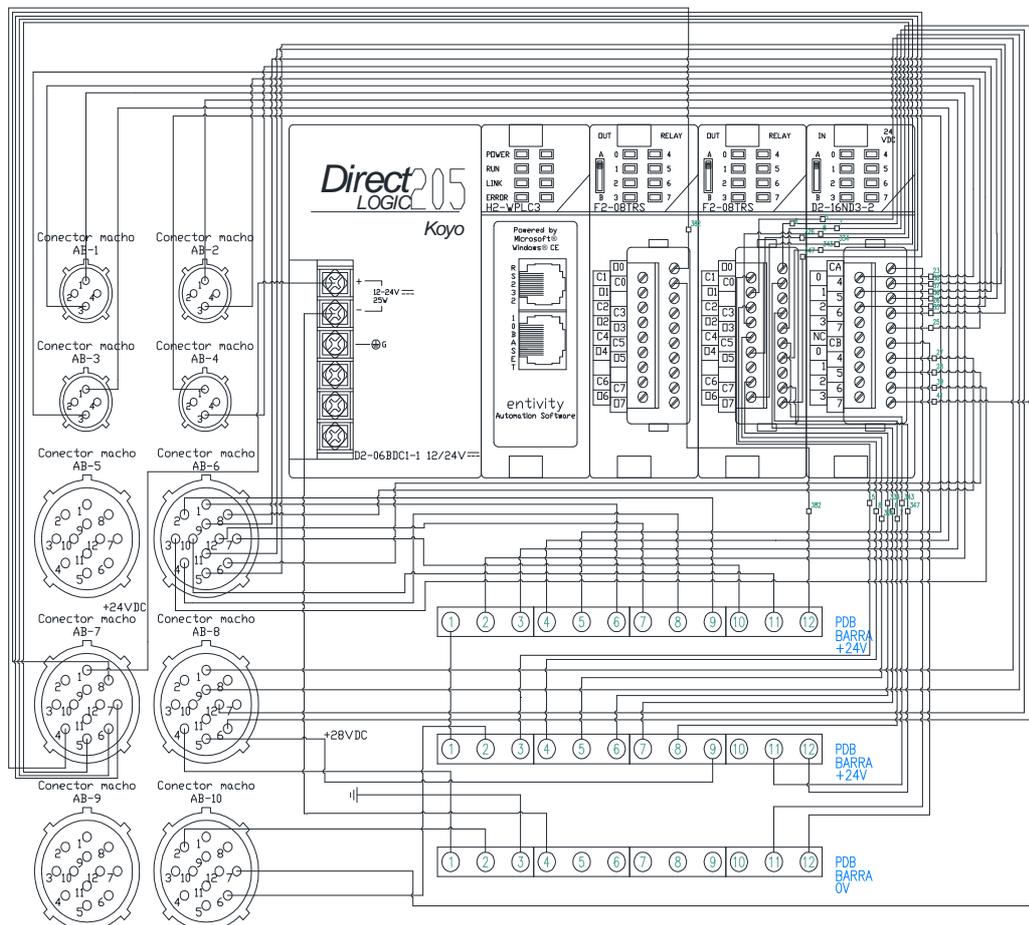


Figura 4-14. Controlador principal

El controlador principal, se ejecuta a través un proyecto llamado “PLC RECARGADORA 2015” que incluye 9 subrutinas, numeradas a continuación:

1. SUBIR.- Paso I y Paso V
2. BAJAR.- Paso IV y Paso VIII
3. GIRAR -90.- Paso II
4. GIRAR +0.- Paso III
5. RECARGAR.- Paso VI
6. RETROCEDER.- Paso VII

7. LIMITE PASOS.- Limita del 0 al 9 los pasos del selector A15
8. RECARGA SEMIAUTOMÁTICA.- Ejecuta Paso “V”-“VI”-“VII”-“VIII” en secuencia
9. CONDICIÓN DE FALLA.- Detiene el sistema, y reestablece el sistema

Para visualizar los indicadores y operar sobre los mandos de la interfaz gráfica, se utiliza una pantalla (Figura 4-9), como se vio en Ingeniería Básica.



Figura 4-15. Pantalla táctil EA7-T12C como panel de control

La pantalla a utilizar es táctil EA7-T12C, y cumple los requerimientos de Ingeniería Básica, como muestra la Tabla 4-6.

Tabla 4-6.
Comparación de requerimientos de la pantalla táctil con EA7-T12C

	Requerimientos	Pantalla táctil EA7-T12C
Color	A color	A color
Tamaño	≥ 6 [in]	12 [in]
Procesador	> 1 [KHz]	400 [MHz]
Alimentación	21 [V] a 28 [V]	20.4 [V] a 28.8 [V]
# Ventanas	> 20	> 999
Comunicación	Ethernet modbus	Ethernet modbus RS232C/RS422/RS485
Puerto de programación	Ethernet	Ethernet, USB
Grado de protección	≥IP54	IP20 con caja IP65
Temperatura operación	>35°C	0°C a 50°C
Humedad de operación	>96%	10-85%

Su conexión consta de dos terminales para alimentación, y un puerto RJ45 para comunicación Ethernet modbus con el controlador, como se muestra en el diagrama de alambrado de la Figura 4-16 (comunicación) y Figura 11-5 (alimentación).

En el ANEXO C se muestran el modelo de la interfaz gráfica utilizada para el proceso de recarga, y en el ANEXO B las tablas de etiquetas (tags) asociadas a su dirección.

El controlador respaldo funciona de manera independiente del controlador principal, por esto el controlador principal es el único que se comunica con otros sistemas del RM-70, como se muestra a continuación.

4.6 Detalle de la red de comunicación entre sistemas

En Ingeniería Básica se decidió que la comunicación entre los dos sistemas³³ es a través de la pantalla, mediante protocolo Ethernet; para la conexión de estos tres equipos se utiliza un conmutador, brindándole escalabilidad³⁴ a este sistema en conjunto.

En la Figura 4-16 (para visualización cada equipo está a diferente escala) se puede ver la topología de red de los equipos en el RM-70.

³³ El controlador ya implementado se trata de un PLC modular Direct Logic 205 (Koyo) con CPU W2-WinPLC, conectado hacia la pantalla mediante protocolo RS232.

³⁴ El sistema se vuelve escalable, ya que permite la adición de una pantalla para el mando a distancia, y la conexión de un computador para programación, solo con conectarse mediante un cable de red con protocolo Ethernet.

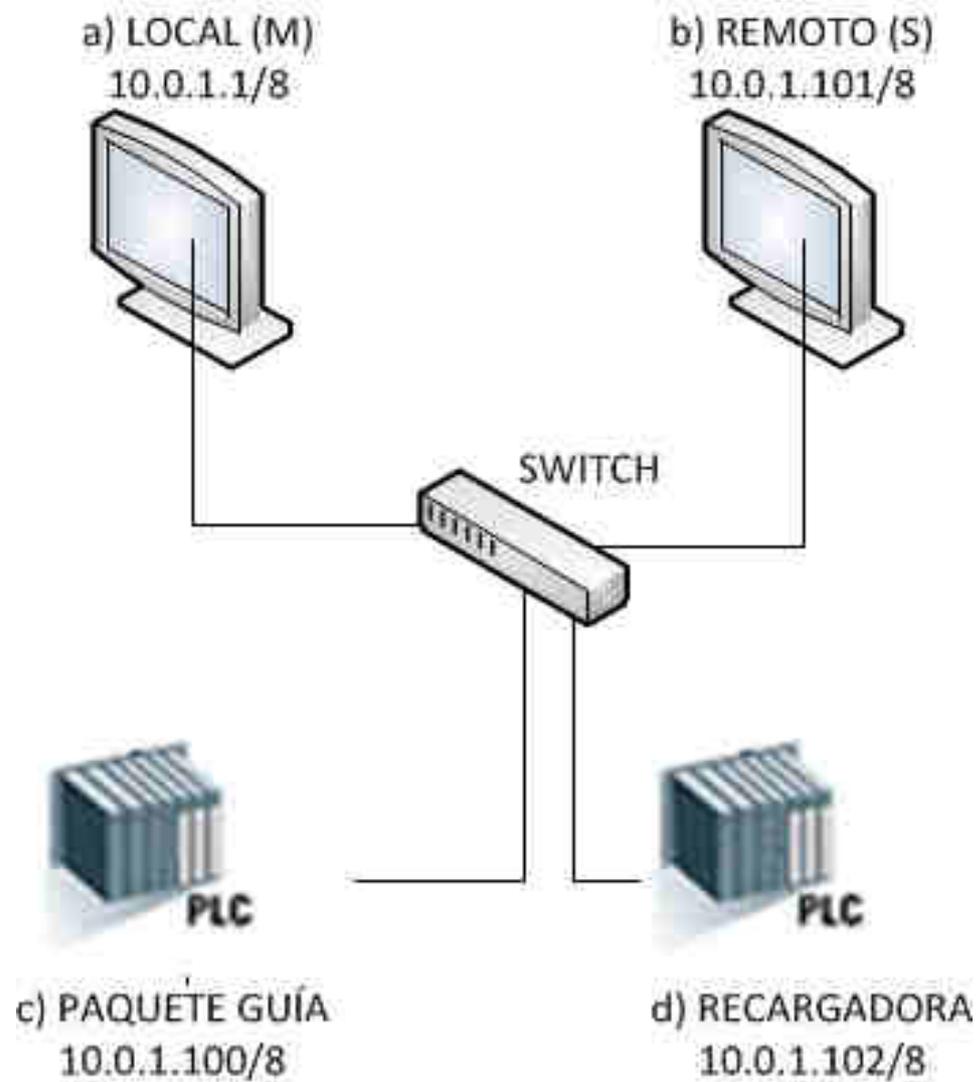


Figura 4-16. Red de Comunicación en estrella, a través de protocolo Ethernet
(a) Pantalla Local, (b) Pantalla a distancia
(c) Controlador paquete guía, (d) Controlador recargadora

La pantalla local y el PLC del paquete guía mantienen su lugar, el PLC de la recargadora se ubica en la antigua caja de control, y el conmutador con la pantalla a distancia³⁵ se colocan dentro del compartimento para la caja de disparo a distancia.

Los equipos se conectan mediante Cable UTP categoría 5e apantallado a través de conectores RJ45 (estándar de conexión T568B), con una velocidad de transferencia de datos de 10 [Mbps], y un alcance máximo de

³⁵ Pantalla utilizada principalmente para la simulación, aunque ofrece altas prestaciones para la supervisión del proceso en pruebas de tiro.

100 [m] entre equipo y conmutador. Cada equipo posee su dirección IP como se muestra en la Tabla 4-7.

Tabla 4-7.
Direcciones IP de la red de comunicación en el RM-70

Equipo	IP
Pantalla EA7-T12C (A distancia)	10.0.1.101
PLC-001 H2-WinPLC (Paquete guía)	10.0.1.100
PLC-002 H2-WinPLC (Recargadora)	10.0.1.102
Pantalla EA7-T12C (Local)	10.0.1.001

A este punto se ha detallado el sistema de control para el proceso de recarga, finalmente se incluyen elementos de protección para algunos equipos.

4.7 Detalle de los elementos de protección

Los elementos de protección incluyen a la etapa de potencia y control, considerando que estos elementos deben ser robustos debido a que el RM-70 es un vehículo de combate.

Para proteger la alimentación del PLC y pantalla se utiliza un regulador de voltaje DC-DC VDZ460-D24-S24 (MM) de 24VDC a 24VDC, conectado a la batería del vehículo, y para proteger el conmutador se utiliza un regulador de voltaje VCD40-D24-S12 de 24VDC a 12VDC, conectado al anterior regulador, como muestra el diagrama de alambrado de en el ANEXO C.

Se puede ver que la batería entrega de 23 a 28 VDC al regulador de 24-24 VDC, la salida de este se conecta la entrada del regular 24-12 VDC; la fuente del PLC utiliza +24 VDC, y la fuente del conmutador +12 VDC (positivo es el interior del conector).³⁶

Finalmente se protege el motor DC, mediante un relé de sobrecarga (Figura 4-17), el cual controla el paso de corriente a través de un contactor.

³⁶ El chasis del RM-70 se encuentra conectado a 0VDC y es común para todo el circuito.



Figura 4-17. Relé de sobrecarga RTD 180-18000 (izquierda) y contactor GH15NT-3-00B (derecha) para el motor DC (Direct, Overload Relay, 2015)

El relé de sobrecarga a utilizar es RTD 180-18000 de 120[A] a 180 [A] ajustables, con tres terminales, y el contactor es GH15NT-3-00B de 180 [A] con tres terminal, como se muestra en el diagrama de alambrado de la Figura 4-18.

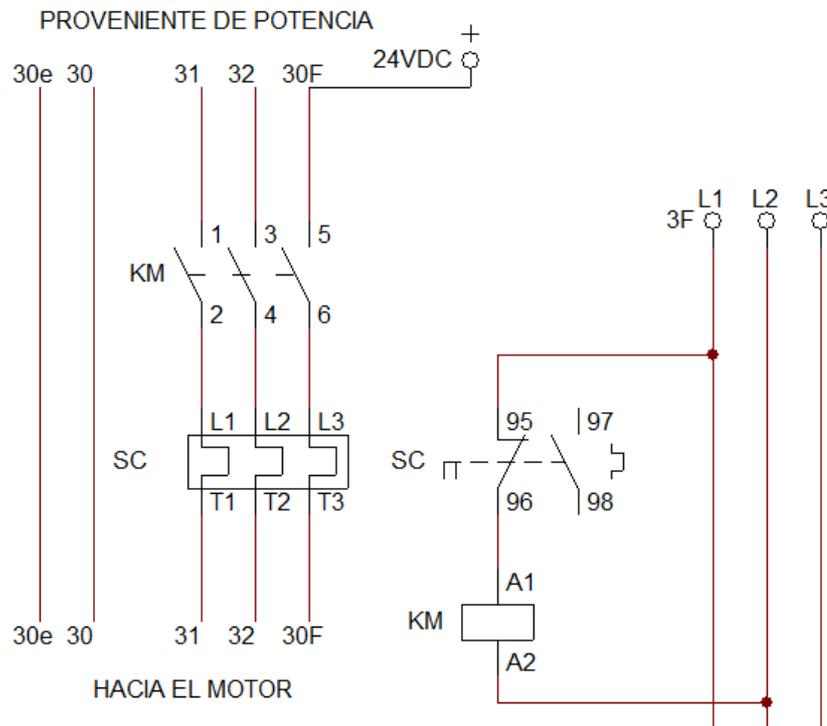


Figura 4-18. Protección del Motor DC

Este relé de sobrecarga opera de -25 °C a 55°C, con un grado de protección IP20 (IP65 dentro de la caja).

Todos los cables utilizados para las conexiones y comunicación, se protegen mediante un recubrimiento antitérmico y cinta termo contraíble.

Para validar el detalle realizado en este capítulo, se somete el RM-70 a una simulación; en esta simulación se prueba solo la eficiencia del controlador principal, para comparar el proceso de recarga modernizado con el proceso anterior a este proyecto, como se puede ver en el siguiente capítulo.

5 CAPÍTULO V

SIMULACIÓN Y RESULTADOS

En este capítulo se realiza la simulación³⁷ del sistema modernizado, que cumple el último requerimiento funcional (CAPÍTULO I) de este proyecto de grado, para lo cual se forma este capítulo de la siguiente manera: Se realiza la configuración previa a la simulación, se expone la simulación, se evalúa la interfaz, y se compara el sistema modernizado con el anterior al proyecto.

5.1 Configuración de red previa a la simulación del proceso de recarga

Una conectados los equipos (como se vio en Ingeniería de Detalle), se configura la red de comunicación, para integrar los modos de operación de la recargadora al sistema de control ya implementado en el RM-70.

A continuación se muestra la configuración del protocolo de comunicación y dirección IP, de cada equipo de la red.

5.1.1 PLC (Controladores)

Se ejecuta el programa “Think & Do Programming Pack”  , se selecciona por ejemplo el archivo CARGA.PRJ dentro de la carpeta PLC RECARGADORA 2015, inmediatamente se abre “ProjectBinder” (Figura 5-1).

³⁷ Con la operación del controlador principal y mando desde pantalla, probando principalmente el modo automático.



Figura 5-1. Programa "PLC RECARGADORA 2015" en ProjectBinder

Dentro del "I/O VIEW" (Figura 5-2) se da click sobre el CPU H2-WPLC, y en la pestaña "Module Info" se habilita³⁸ la comunicación Ethernet modbus (esclavo).

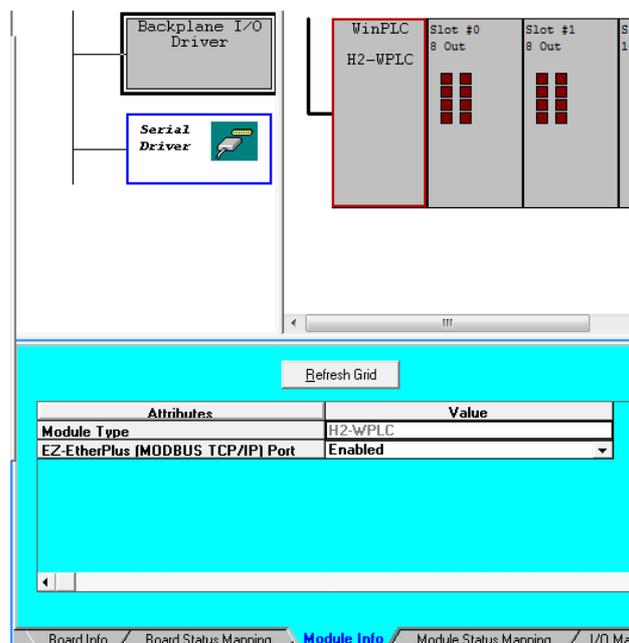


Figura 5-2. Habilitación de la comunicación Ethernet modbus (esclavo)

³⁸ La configuración se realiza fuera de línea

Posteriormente se compila, guarda y ejecuta³⁹ el programa desde “ProjectBinder” (Figura 5-1), y se accede a “Think & Do Programming Pack ESP” (Figura 5-3).

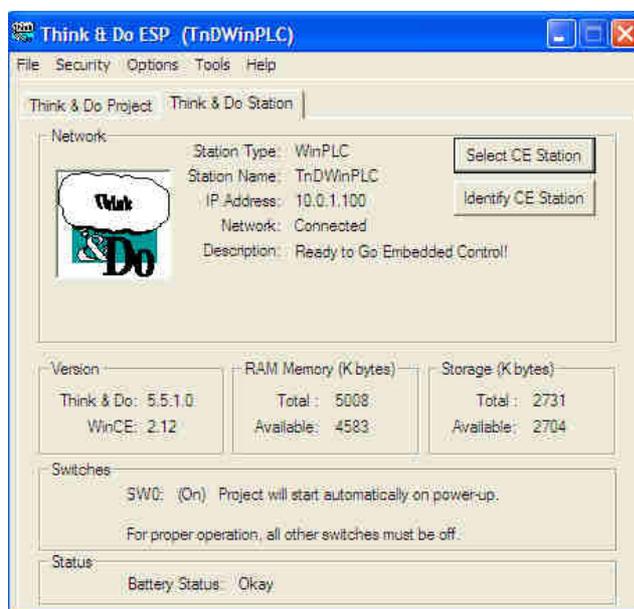


Figura 5-3. Think & Do ESP

En esta ventana se presiona “SELECT CE Station”, y se abre la ventana de la Figura 5-4, desde la cual se accede a la configuración IP presionando “Configure”.

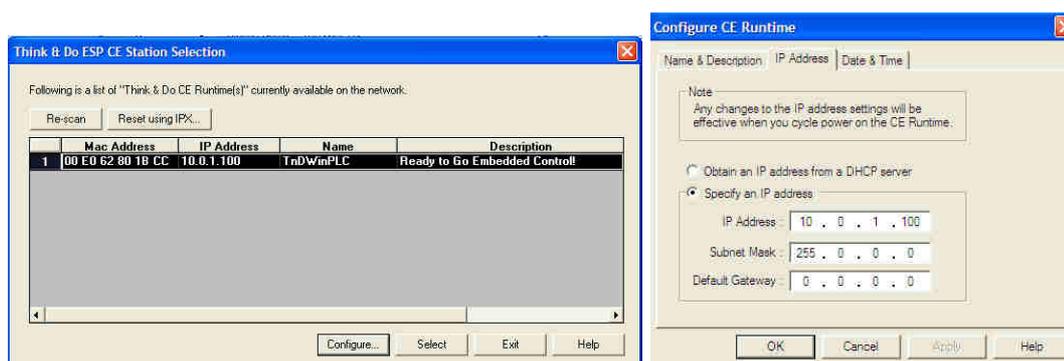


Figura 5-4. Configuración IP del PLC

Esta misma configuración se hace para ambos PLCs, Paquete guía y Recargadora, tomando en cuenta las direcciones IP de la Tabla 4-7. Para que se ejecuten los cambios, debe reiniciarse el PLC.

³⁹ Verificar que el computador se encuentre en la misma red 10.X.X.X

5.1.2 Pantalla

Se ejecuta el programa “C-more Programming Software Ver2.00 Build07.35” , y se selecciona el archivo HMI TATRA 2014.EAP dentro de la carpeta HMI RECARGADORA 2015, inmediatamente se abre la ventana de la Figura 5-5.

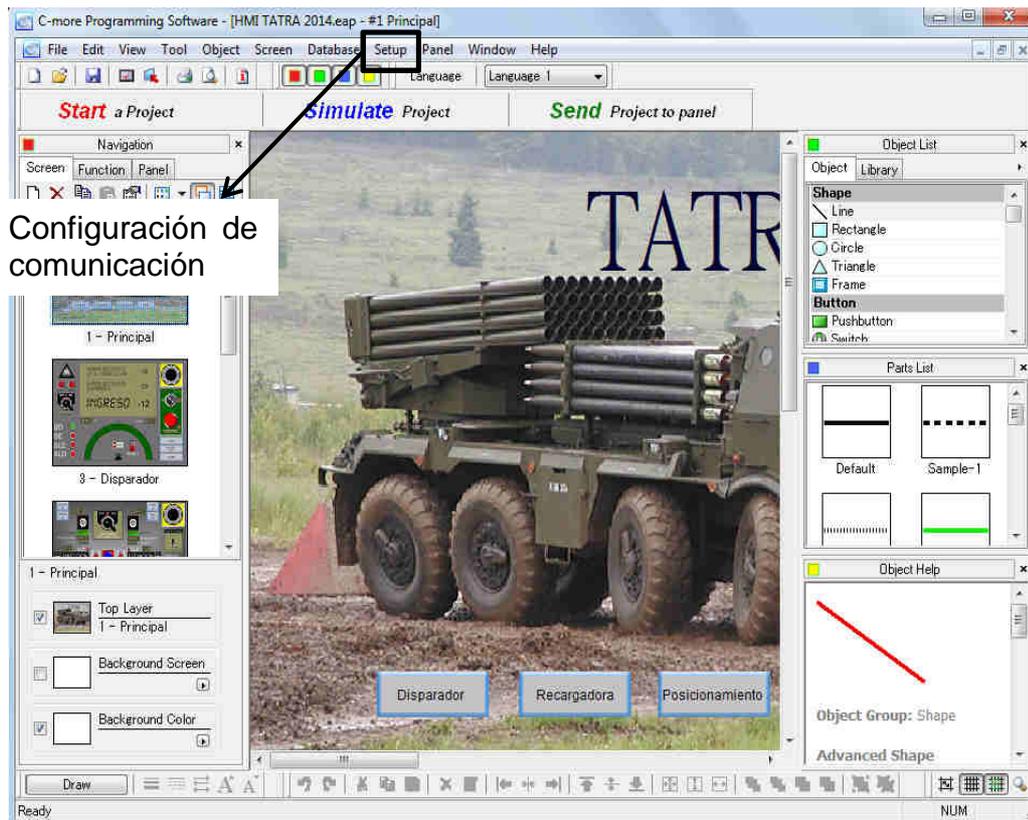


Figura 5-5. C-more Programming Software "HMI TATRA 2014"

Desde esta ventana se accede a “Setup” -> “Panel Manager” (Figura 5-6), en la cual se verifica el protocolo de comunicación Ethernet modbus (master), y por ejemplo para el PLC de la recargadora se selecciona el puerto “DEV002” con dirección IP (del PLC) 10.0.1.102 y 2do esclavo, en la parte inferior se carga el archivo de direcciones del PLC “Think and Do Map File”.

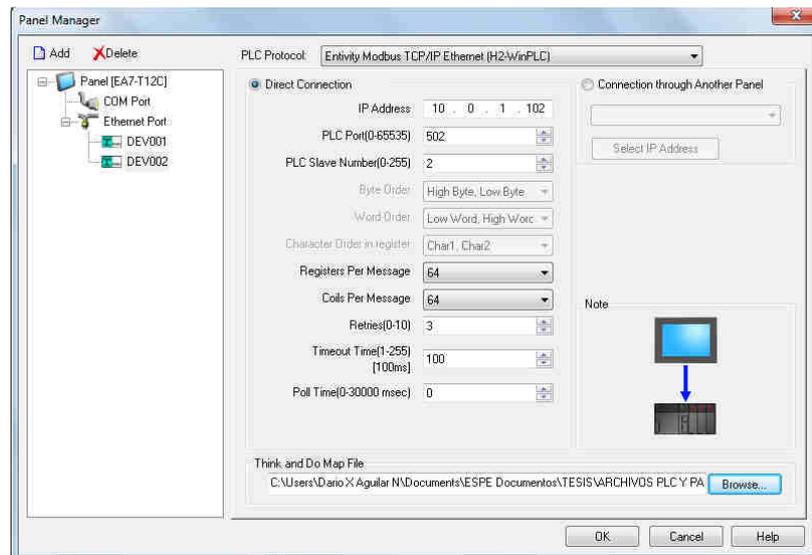


Figura 5-6. “Panel Manager” de HMI TATRA 2014

Posteriormente se guarda y ejecuta⁴⁰ el programa desde “C-more P” (Figura 5-5), y se configura la dirección IP según la Tabla 4-7, presionando “Send Project to panel” .-> “Browse” -> “Change IP Address” (Figura 5-7).

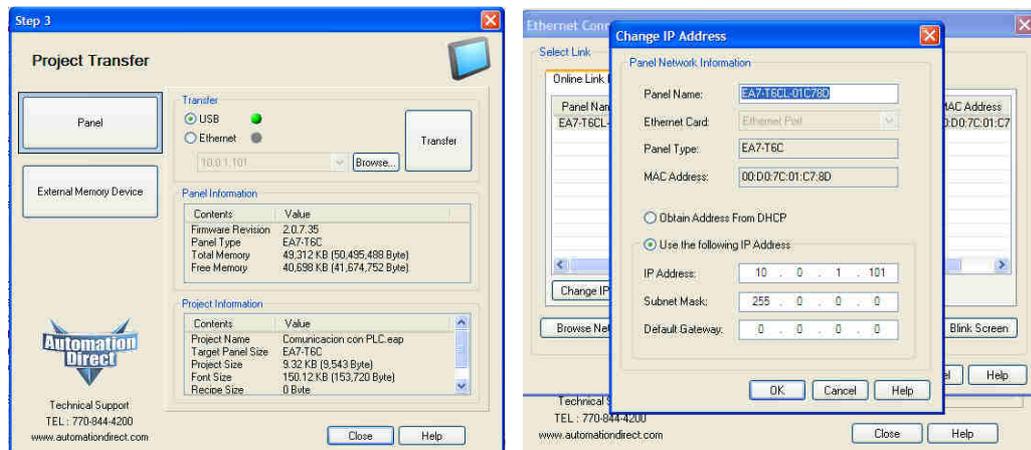


Figura 5-7. Configuración IP de Pantalla

5.2 Simulación del proceso de recarga

Para iniciar con la simulación del proceso de recarga, sobre el prototipo RM-70 a cargo del CICTE, se realizan los siguientes pasos:

1. Se realiza lo indicado en “5.1 Configuración de red previa a la simulación del proceso de recarga”

⁴⁰ Verificar que el computador se encuentre en la misma red 10.X.X.X

2. Se enciende el tablero de la cabina de manejo del RM-70
3. Se enciende el vehículo
4. Se enciende N3, el Interruptor Principal del tablero (encendido de PLC y pantalla)
5. Se embraga y se coloca la marcha en 5ta
6. Se enciende el Interruptor Hidráulico A11 y se suelta el embrague

Para mover la recargadora se ingresa al menú “RECARGADORA” desde la ventana principal (Figura 5-8).



Figura 5-8. Ventana Principal de la Pantalla en el RM-70

Posteriormente se verifica la posición de la recargadora mediante los indicadores de “PROCESO DE RECARGA”; la recargadora se encuentra en posición inicial (Figura 5-9), con lo que comienza el proceso de carga paso-a-paso.

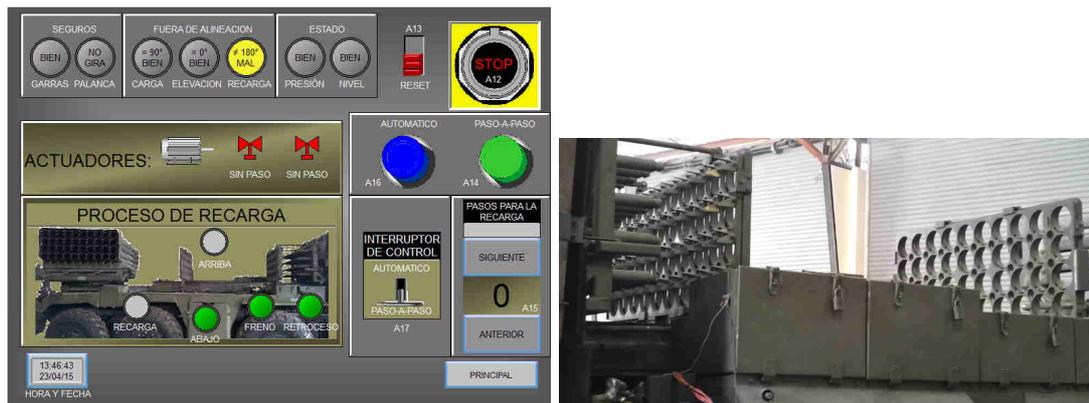


Figura 5-9. Posición Inicial para el proceso de carga

Se comienza ejecutando el paso I “LEVANTAR” (Figura 5-10), para lo cual:

- Se pone el Interruptor de control A17 en “PASO-A-PASO”
- Se pone el selector digital A15 en “1”
- Se verifica las alarmas y advertencias (seguros, alineación, estado)
- Se presiona el botón A14

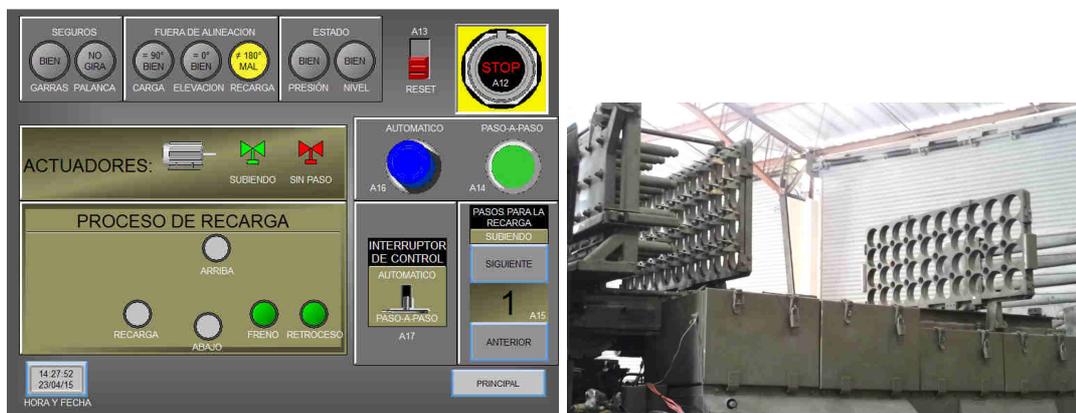


Figura 5-10. Ejecución del paso I "LEVANTAR"

Al finalizar el paso I, se suelta el botón A14 y se muestra la imagen de la recargadora arriba en “PROCESO DE RECARGA”, como se indica en la Figura 5-11.

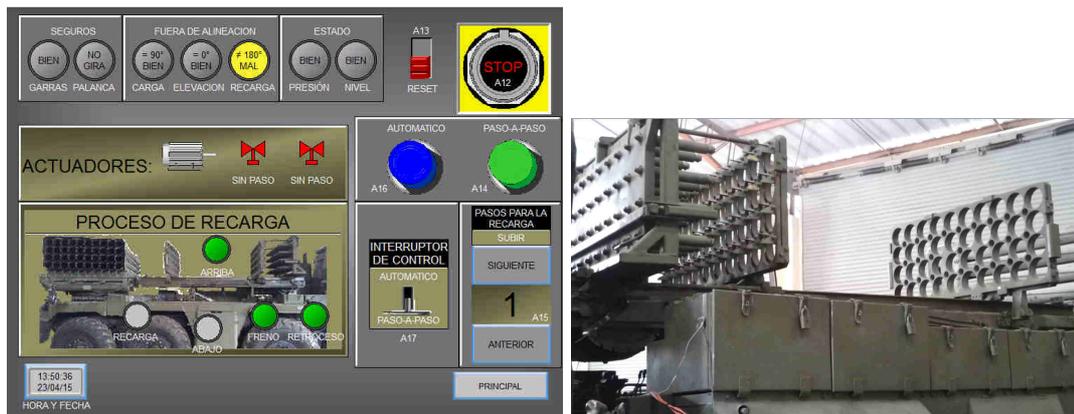


Figura 5-11. Finalización del paso I "LEVANTAR"

Se continúa ejecutando el paso II "ROTAR 90°" (Figura 5-12), para lo cual:

- Se pone el selector digital A15 en "2"
- Se verifica las alarmas y advertencias (seguros, alineación, estado)
- Se desactiva manualmente el seguro de palanca
- Se presiona el botón A14

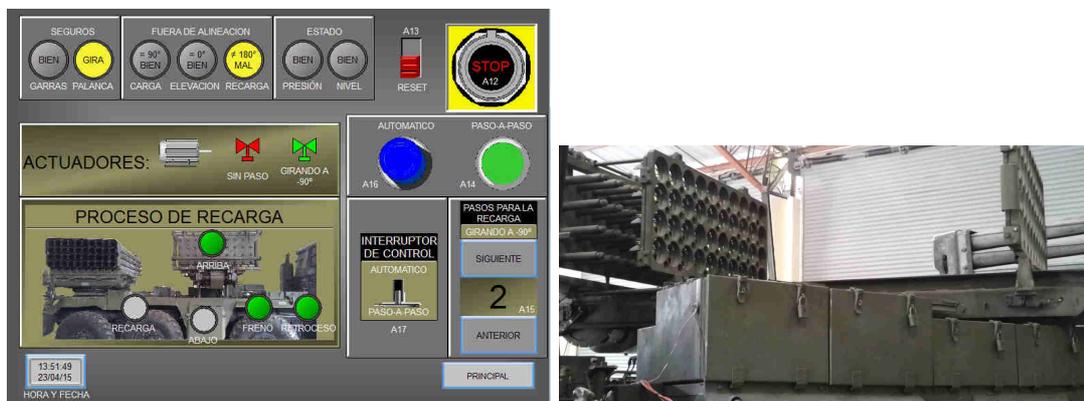


Figura 5-12. Ejecución del paso II "ROTAR 90°"

Al finalizar el paso II, se desactiva manualmente el botón A14 y se muestra la imagen de la recargadora ubicada -90° en "PROCESO DE RECARGA", como se indica en la Figura 5-13.

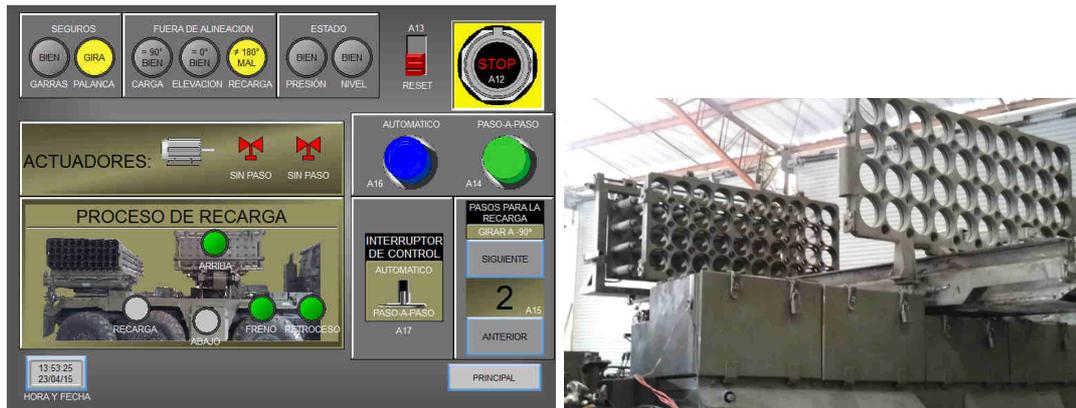


Figura 5-13. Finalización del paso II "ROTAR 90°"

Se continúa ejecutando el paso III "RETORNAR DEL GIRO" (Figura 5-14), para lo cual:

- Se pone el selector digital A15 en "3"
- Se verifica las alarmas y advertencias (seguros, alineación, estado)
- Se presiona el botón A14

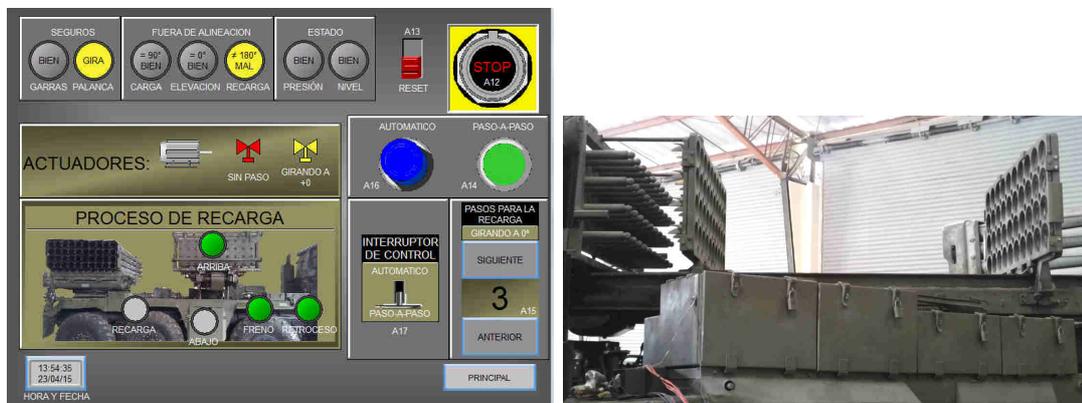


Figura 5-14. Ejecución del paso III "RETORNAR DEL GIRO"

Al finalizar el paso III, se suelta el botón A14 y se muestra la imagen de la recargadora ubicada +0° en "PROCESO DE RECARGA", como se indica en la Figura 5-15.

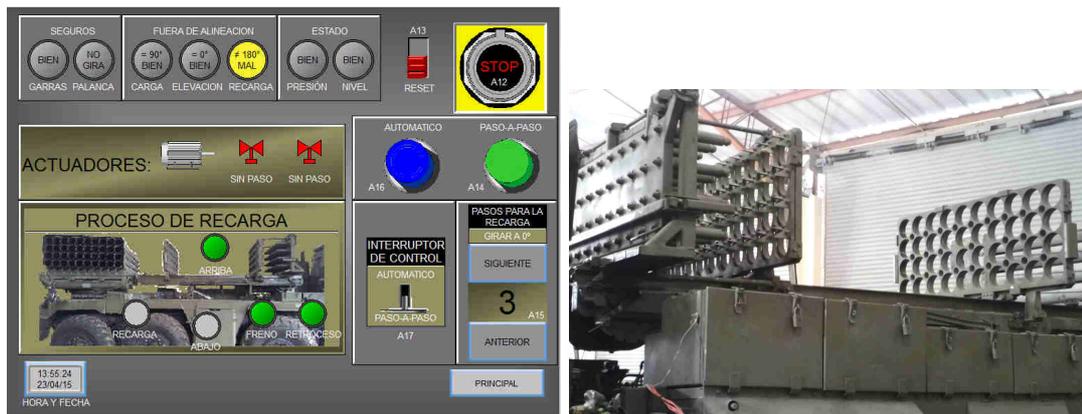


Figura 5-15. Finalización del paso III "RETORNAR DEL GIRO"

Se continúa ejecutando el paso IV "DEJAR CAER" (Figura 5-16), para lo cual:

- Se pone el selector digital A15 en "4"
- Se verifica las alarmas y advertencias (seguros, alineación, estado)
- Se presiona el botón A14



Figura 5-16. Ejecución del paso IV "DEJAR CAER"

Al finalizar el paso IV, se suelta el botón A14 y se muestra la imagen de la recargadora abajo en "PROCESO DE RECARGA", como se indica en la Figura 5-17.

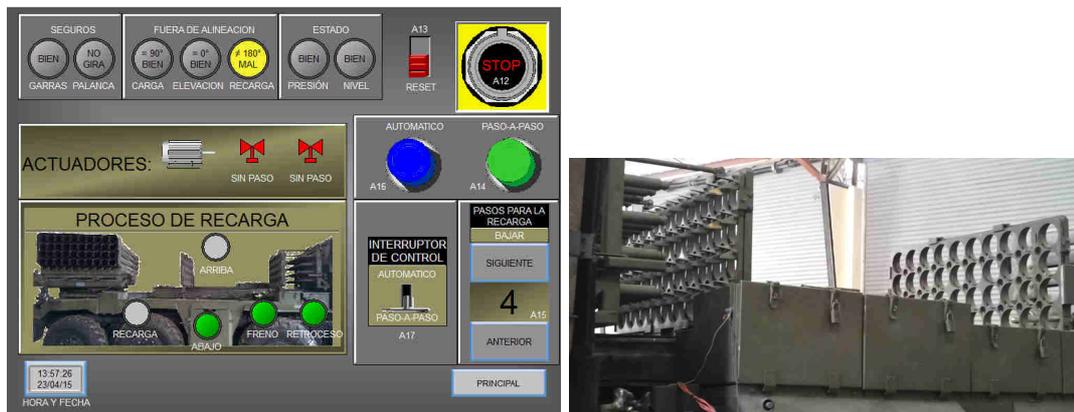


Figura 5-17. Finalización del paso IV "DEJAR CAER"

Ha culminado el proceso de carga paso-a-paso, se verifica la posición de la recargadora mediante los indicadores de "PROCESO DE RECARGA"; la recargadora se encuentra en posición inicial (Figura 5-18), lista para la recarga automática, con lo cual:

- Se pone el Interruptor de control A17 en "AUTOMÁTICO"
- Se pone el selector digital A15 en "9"
- Se verifica las alarmas y advertencias (seguros, alineación, estado)

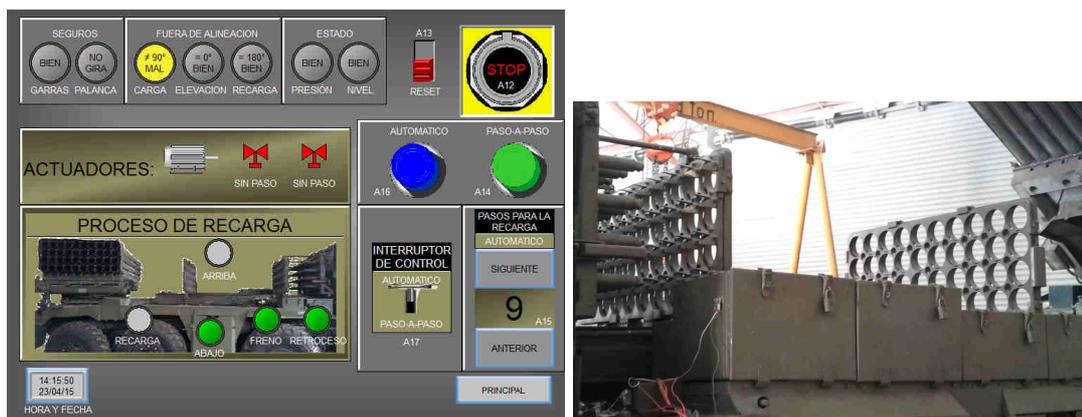


Figura 5-18. Posición Inicial para el proceso de recarga automática

Se comienza presionando el botón A16, con lo se ejecuta el paso V "LEVANTAR LA CARGA" (Figura 5-19).

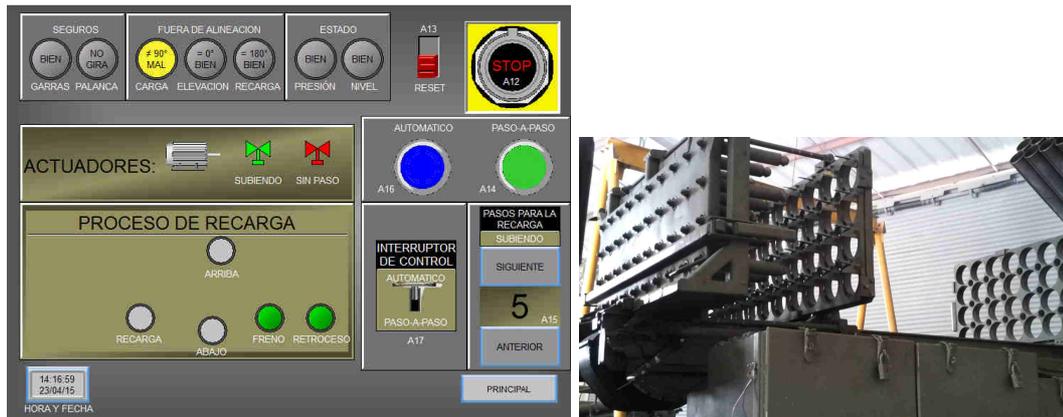


Figura 5-19. Ejecución del paso V "LEVANTAR LA CARGA"

Se continúa ejecutando el paso VI "AVANCE PUNTAS" (Figura 5-20).

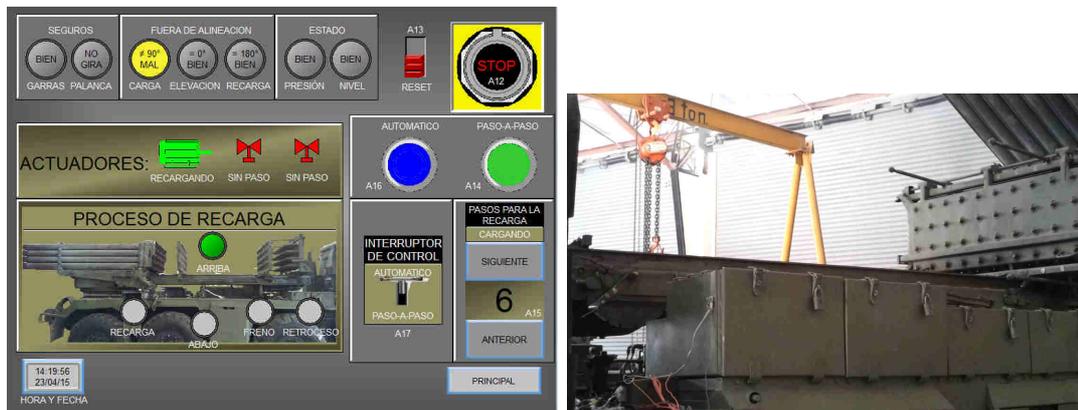


Figura 5-20. Ejecución del paso VI "AVANCE PUNTAS"

Se continúa ejecutando el paso VII "ATRÁS PUNTAS" (Figura 5-21).

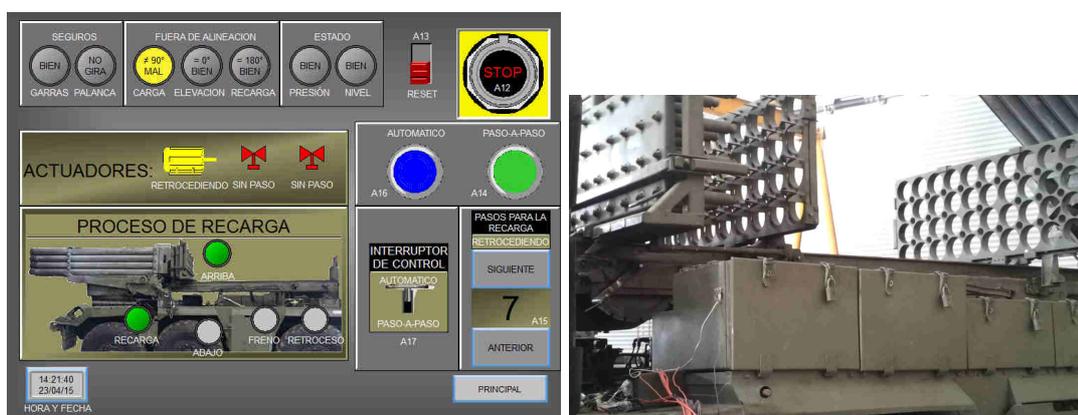


Figura 5-21. Ejecución del paso VII "ATRÁS PUNTAS"

Se continúa ejecutando el paso VIII "DEJAR CAER" (Figura 5-22).

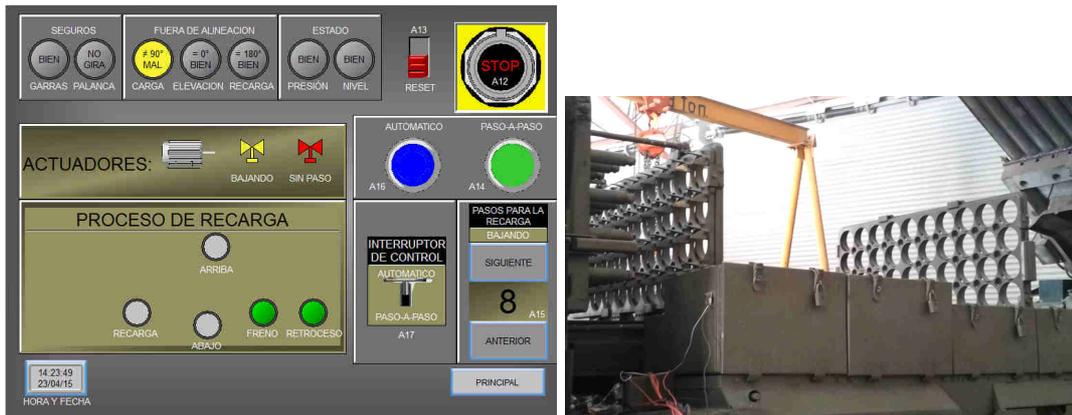


Figura 5-22. Ejecución del paso VIII "DEJAR CAER"

Al finalizar el paso VIII, se suelta automáticamente el botón A16 y A14, y se muestra en "PROCESO DE RECARGA", la imagen de la recargadora abajo, como indica la Figura 5-23.

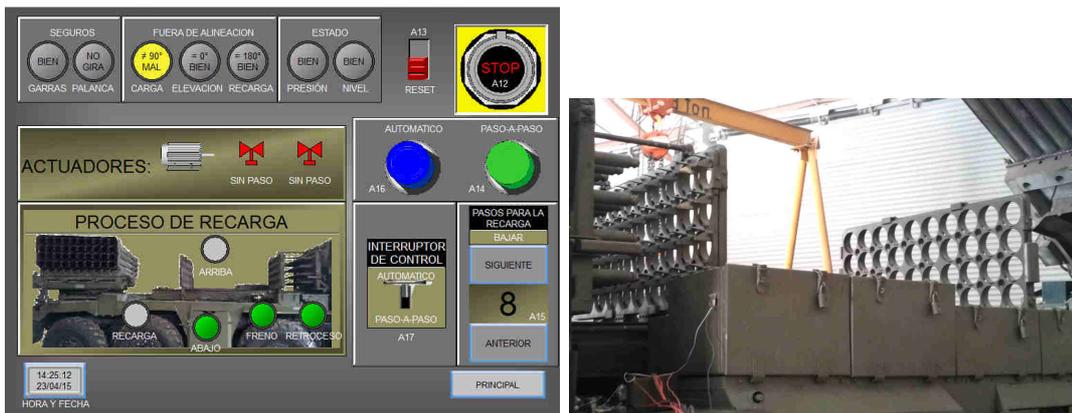


Figura 5-23. Finalización del paso VIII "DEJAR CAER"

Esta simulación comprueba la funcionalidad de la modernización (mediante la operación del controlador principal a través de pantalla); finalmente se evalúa esta interfaz, y se compara este proceso modernizado con el proceso anterior al proyecto.

5.3 Evaluación de la Interfaz

Esta Interfaz comunica al operador con el proceso de recarga, si la interfaz es de fácil entendimiento y rápido control, se mejora notablemente este proceso; por lo tanto se necesita saber que tan usable es esta interfaz, realizando una evaluación mediante la guía GEDIS.

La evaluación de la Interfaz de este proyecto consta de 8 de 10 elementos:

1. Arquitectura.- Mapa de acceso a las diferentes ventanas.
2. Distribución.- Plantilla que rige la creación de ventanas.
3. Navegación.- Forma de Navegación.
4. Uso de Color.- Conservador (no opacar otras operaciones), consistente (contraste).
5. Información Textual.- Información presentada al usuario en forma de texto.
6. Símbolos y representaciones de los equipos.- Información presentada al usuario en forma gráfica.
7. Valores de proceso.- Despliegue de los datos analógicos del proceso.
8. Tablas y grupos de tendencia.- Agrupación de variables para mejor entendimiento del operador.
9. Comandos e ingreso de datos.- Intervención del operador, que suministra datos al sistema, para que este se comporte de acuerdo a sus objetivos.
10. Alarmas.- Informa al operador de situaciones anómalas (críticas, advertencia o mensaje).

Estos puntos evalúan la ventana de recarga, como se muestra en la Tabla 5-1, con las observaciones correspondientes de cada elemento, indicado en la Tabla 5-2.

Tabla 5-1.
Evaluación de la ventana de recarga
según la guía GEDIS

Elemento	Detalle	Punto /5
Distribución	Densidad de elementos	4
	Entendimiento de ubicaciones	2
	Sinóptico de proceso acorde	5
	Total	3.7
Navegación	Accesibilidad	3
	Área de contacto del botón (suficiente)	3
	Correspondencia con distribución	5

CONTINÚA →

	Total	3.7
Uso del Color	Visibilidad	2
	Contraste de letras con el fondo	4
	Número de colores	4
	Uso típico de colores (verde, amarillo, rojo)	5
	Total	3.8
Información Textual	Identificación de cada elemento y su estado	4
	Tamaño de texto	4
	Alineación	5
	Fuente (tipo de letra)	5
	Expresión (entendimiento de lo que indica)	5
	Total	4.6
Símbolos y equipos	Facilidad de reconocimiento	5
	Diferenciación de estado del equipo (On/Off)	4
	Total	4.5
Valores de proceso	Visibilidad	5
	Ubicación	4
	Rango adecuado	5
	De fácil ajuste o cambio	5
	Total	4.8
Comandos e ingreso de datos	Visibilidad	4
	Maniobrabilidad	5
	Retroalimentación (identificador de estado)	3
	Total	4
Alarmas	Visibilidad	5
	Facilidad de reconocimiento	5
	Indican claramente el parámetro anómalo	4
	Exceso de alarmas	4
	Total	4.5
TOTAL		4.2

La evaluación total de la ventana de recarga es de 4.2/5, por lo que se puede concluir que existe una buena comunicación entre el operador y el proceso, sin embargo existen algunos puntos que se pueden mejorar, como se muestra a continuación.

Tabla 5-2.
Puntos de mejora sobre la ventana de recarga
según la guía GEDIS

Elemento	Observación
Distribución	No se sabe dónde están los indicadores y dónde están los mandos
Navegación	No se encuentra el botón de navegación fácilmente
Uso del Color	Con la luz del día el color blanco no se visualiza
Información Textual	No se indica claramente que hacen los botones
Símbolos y equipos	-----
Valores de proceso	-----
Comandos e ingreso de datos	-----
Alarmas	Falta indicación de cómo resolver el estado de alarma

Posterior a esta evaluación, se gradúa la flexibilidad y eficacia del sistema modernizado, se muestran las limitaciones en la Interfaz, y la forma de evitar errores humanos:

1. Eficacia y Flexibilidad

- La recargadora realiza los pasos que necesita el proceso, comparando en promedio 16 de 18 condiciones totales para ejecutar un paso, por esto existe eficacia del 89%.
- No se permite mover la recargadora al antojo del operador, ya que en cada instante se puede ejecutar 1 de los 8 pasos disponibles más el modo automático, por lo que existe una flexibilidad del 11%.

2. Limitaciones

- Existen limitaciones psicológicas en las alarmas (“BIEN”, “MAL”), que ayudan al reconocimiento de la situación, minimizando acciones involuntarias.

- Además existe una limitación tipo eje en el selector A17, para facilitar la entrada de acciones.

3. Errores Humanos

- Los botones A14, A16 y A13, evitan la acción involuntaria de un paso.
- Los botones “SIGUIENTE” y “ANTERIOR” se ubican tan separados, para evitar que, al querer realizar un paso ejecute otro.

Finalmente se compara este proceso modernizado con el proceso anterior al proyecto, como una ayuda en el estudio de implementación a gran escala.

5.4 Comparación del sistema modernizado versus el sistema anterior

En este punto se compara directamente los dos sistemas (anterior vs modernizado) como se muestra en la Tabla 5-3.

Tabla 5-3.
Comparación del sistema modernizado vs sistema anterior

Elemento	Sistema anterior	Sistema modernizado
Sensores	Limitadores de posición	Limitadores de posición, sensores de proximidad, interruptor de presión
Actuadores	Sin elementos de protección	Relé de sobrecarga para el motor DC
Mando	Tablero principal	Tablero principal, pantalla
Indicadores	Modos de ejecución	Modos de ejecución, posición de la recargadora, y alarmas
Modos de operación	Paso-a-paso del I al IV sin limitaciones de movimiento	Paso-a-paso del I al VIII y automático con limitaciones de movimientos
Comunicación entre sistemas	Incomunicado	Comunicado mediante red con protocolo Ethernet
Mando a distancia	Inhabilitado	Red Ethernet escalable para el mando de operación a distancia mediante pantalla

CONTINÚA →

Robustez	Funcional ambiente combate	en de	Dificultad funcional en ambientes de combate (debido a la pantalla), sin embargo su funcionamiento en paralelo brinda respaldo
Versatilidad	Lógica de relés no es flexible		Con el PLC se permite un rápido ajuste del proceso (en caso de falla del sistema)
Tiempos de ejecución* promedio para carga⁴¹ y recarga	1.8 [min]		1.4 [min]

*Es uno de los parámetros más importantes en la comparación, hay que tomar en cuenta que ha existido una reducción en el tiempo de mando del proceso, como se detalla en el ANEXO A.10. El resumen de comparación de estos tiempos, tanto de mando como de proceso, se puede ver en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4.
Comparación de tiempos mando y proceso de recarga (sistema actual vs modernizado)

Tiempos	Anterior [s]	Modernizado [s]
Mando	3.67	3.62
Proceso		
Sistema hidráulico	48	48
Entre pasos	40	20
Movimiento de avance/retroceso	14	14
Total	1.8[min]	1.4[min]

Todos los estudios realizados desde, Ingeniería Conceptual, Básica y de Detalle, hasta la Simulación y Resultados ayudarán a decidir la implementación a gran escala.

⁴¹ No se considera la carga manual de los cohetes en la estructura de la recargadora

6 CONCLUSIONES:

Se estableció un controlador electromecánico en el proceso de recarga, que sirve como respaldo, gracias a su funcionamiento en paralelo con el controlador electrónico principal.

Se alcanzó el tercer nivel de la automatización (“supervisión”), ya que el sistema modernizado permite controlar y monitorear el proceso de recarga, además de visualizar las posibles causas de fallo, para que el operador realice una acción oportuna y precautele la seguridad del sistema.

Se integró el control de la recargadora al controlador del paquete guía, mediante una red de comunicación Ethernet en estrella, permitiendo el intercambio de información entre la red de comunicación.

Se simuló el proceso de recarga directamente sobre el RM-70 a cargo del CICTE, comprobando la funcionalidad del proceso desde el controlador; para esta simulación se utilizó: los sensores de presencia y actuadores propios del vehículo, una pantalla EA7-T12C adicional como mando a distancia, un conmutador de red, y un PLC.

Se determinó la usabilidad de la interfaz gráfica (del proceso de recarga), mostrando como resultado una eficacia del 89% y flexibilidad del 11%, lo cual se ajusta al tipo de operación que se le va a dar.

Se redujo el tiempo de mando del proceso de recarga ⁴², de 44 [s] (anterior) a 24 [s] (modernizado), manteniendo el tiempo de proceso en 1 [min].

Se despreciaron las pérdidas de carga en la tubería para el dimensionamiento del manómetro, ya que se calculó una alta eficiencia (99.76%) en el sistema hidráulico.

⁴² Comparado con un RM-70 de características funcionales originales, su reducción de tiempo es de 20 [s] aproximadamente.

7 RECOMENDACIONES:

Considerar la implementación del posicionamiento–recarga automático, el cual es un proceso que ubica al paquete guía en posición de recarga, recarga los cohetes, y vuelve a la puntería, todo con la acción de un botón⁴³.

Sustituir los contactores de potencia del motor DC, por varios SSR (con un disipador de calor), ya que el motor se encuentra expuesto a sobrecorriente si estos contactores se sueldan.

Colocar un sensor, que indique la posición de llegada de la recargadora a -90° , esto mejoraría el modo de operación paso-a-paso.

Instalar una cámara de video en el RM-70, que permita visualizar al personal sobre la recargadora, y principalmente al paquete guía cuando se realiza el disparo.

Realizar un estudio del espacio de trabajo irregular del paquete guía (involucrando las ecuaciones de Denavit Hartenberg), para incluir algunas condicionantes en el movimiento.

⁴³ Todo esto una vez controlada la posición del paquete guía.

8 BIBLIOGRAFÍA

Andrew, S. (1986). *Hidráulica Práctica*. Limusa.

Anónimo. (13 de Mayo de 2015). *Frenos*. Obtenido de <http://lim.ii.udc.es/docencia/din-sismec/Frenos.pdf>

Anónimo. (07 de Mayo de 2015). *Full Mecanica*. Obtenido de <http://www.fullmecanica.com/definiciones/c/1277-coeficiente-de-rozamiento>

Anónimo. (12 de Abril de 2015). *Military Today*. Obtenido de http://www.military-today.com/artillery/rm_70.htm

Caterpillar. (05 de Mayo de 2015). *Calidad de Aceite en el Sistema*. Obtenido de <http://datoscatpillar.blogspot.com/2012/11/calidad-del-aceite-en-el-sistema.html>

Cengel, Y. A. (s.f.). *Transferencia de Calor*. Mc Graw Hill.

Direct, A. (23 de Enero de 2014). *Sure Servo*. Obtenido de <http://www.automationdirect.com/static/manuals/sureservomanual/sureservomanual.pdf>

Direct, A. (17 de Abril de 2015). *Inductive sensor*. Obtenido de [http://www.automationdirect.com/adc/Shopping/Catalog/Sensors_-z-_Encoders/Inductive_Proximity_Sensors_-z-_Proximity_Switches/12mm_Round_Harsh_Duty/Basic_IP69K_\(12mm\)/PNM6-AN-4H](http://www.automationdirect.com/adc/Shopping/Catalog/Sensors_-z-_Encoders/Inductive_Proximity_Sensors_-z-_Proximity_Switches/12mm_Round_Harsh_Duty/Basic_IP69K_(12mm)/PNM6-AN-4H)

Direct, A. (02 de Mayo de 2015). *Overload Relay*. Obtenido de [http://www.automationdirect.com/adc/Shopping/Catalog/Motor_Controls/Contactors_-z-_Starters_-z-_Overloads/110mm_Contactors_\(150_to_175_Amps\)_-z-_Overloads/RTD180-18000](http://www.automationdirect.com/adc/Shopping/Catalog/Motor_Controls/Contactors_-z-_Starters_-z-_Overloads/110mm_Contactors_(150_to_175_Amps)_-z-_Overloads/RTD180-18000)

Direct, A. (27 de Abril de 2015). *Pressure sensor*. Obtenido de http://www.automationdirect.com/adc/Shopping/Catalog/Sensors_-z-_Encoders/Pressure_Sensors/Pressure_Switches/MPS25-1C-P1000D

EXA, G. (12 de Febrero de 2015). Obtenido de <http://guayaquil.exa.ec/1day/>

Fox, R., & McDonald, A. (1995). *Introducción a la mecánica de fluidos*. México DF: McGraw Hill.

Ibarguren, X. A. (2013). *CURSO DEL AUTÓMATA PROGRAMABLE CS1*. Obtenido de PUERTO RS-232C: http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCS1/puerto_rs_232c.htm

Rashid, M. (2001). *Electrónica de Potencia*. México D.F.: Prentice Hall Hispanoamerica.

RockwellAutomation. (13 de Febrero de 2015). Obtenido de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1762-rm001_-en-p.pdf

RockwellAutomation. (19 de Febrero de 2015). Obtenido de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/br/1747-br017_-en-p.pdf

RockwellAutomation. (21 de Febrero de 2015). Obtenido de http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/1785-um001_-en-p.pdf

SIGMA, M. (2014). *Control de Procesos*. Obtenido de Automatización Industrial: <http://www.mes-sigma.net/Cursos/CursosVirtuales.htm>

Torres, L. (2013). *Instrumentos de Medición de Presión*. Tegucigalpa: Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

9 ANEXO A Cálculos:

9.1 ANEXO A.0 Cálculo de la presión en el avance del émbolo:

Se obtiene la presión de trabajo del sistema basado en las dimensiones de los cilindros hidráulicos que realizan los movimientos de elevación (se muestran en la Figura 9-1), con sus dimensiones:

$$l_e = 16[in] = 40.7[cm] \text{ Longitud del vástago}$$

$$l = 30[cm] \text{ Longitud de trabajo del émbolo}$$

$$e = 7[mm] \text{ Espesor del cilindro}$$

$$d = 45[mm] \text{ Diámetro del vástago}$$

$$D = 95[mm] \text{ Diámetro del cilindro}$$

$m = 250[Kg] + 40 \times 66[Kg] = 2890[Kg]$ Peso de la recargadora con cohetes

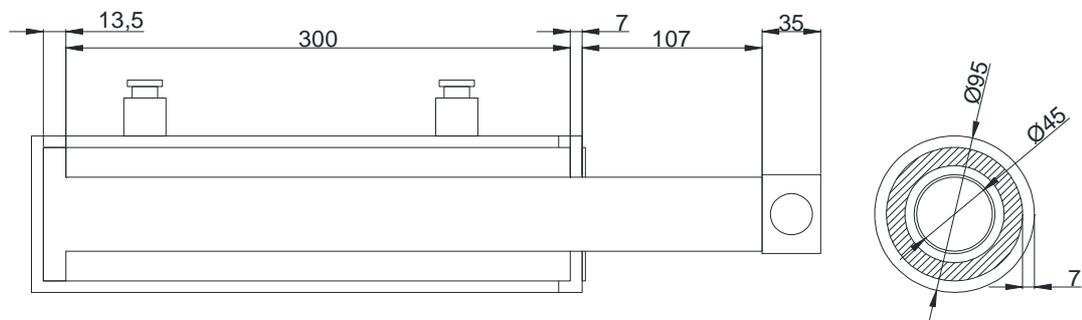


Figura 9-1. Corte transversal/frontal del cilindro hidráulico para subir/bajar la recargadora

A partir de la Ecuación 1, la fuerza de empuje necesaria para sostener la recargadora sobre el émbolo del cilindro, se puede obtener la presión necesaria del circuito hidráulico:

$$P = \frac{F}{A}$$

Ecuación 1. Presión provocada por una fuerza normal sobre una superficie plana

Suponiendo que el peso de la recargadora se distribuye equitativamente para ambos cilindros en subir/bajar; la fuerza ejercida por cada cilindro forma un ángulo de $\theta = \cos^{-1}\left(\frac{13.85[in]}{16[in]}\right) \approx 30^\circ$ con la base del chasis como se muestra en la Figura 9-2.

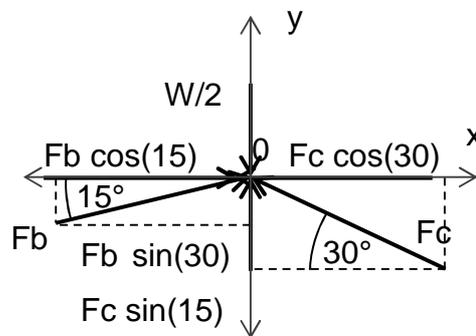


Figura 9-2. Diagrama del cuerpo libre para subida de la recargadora

Mediante la Ecuación 2 se obtiene la fuerza que mantendrá en equilibrio al diagrama de la Figura 9-2.

$$\sum F = 0$$

Ecuación 2. Fuerza resultante para estado de reposo o MRU

$$\sum F_x = -F_c \cos(30^\circ) + F_b \cos(15.25^\circ) = 0 \Rightarrow F_b = 0.898F_c$$

$$\sum F_y = -\frac{W}{2} + F_b \sin(15.25^\circ) + F_c \sin(30^\circ)$$

$$\sum F_y = -\frac{mg}{2} + 0.736F_c = 0 \Rightarrow F_c = 0.68mg$$

Para la presión en el avance del cilindro, se calcula la presión sobre el área mayor: (La medida de diámetro del cilindro debe ser muy precisa, ya que afecta grandemente en la presión resultante, tal como se puede ver en el ANEXO A.1)

$$P = \frac{F}{A_M} = \frac{0.68mg}{\pi(r_M)^2} = \frac{0.68 \times 4mg}{\pi(D - 2e)^2}$$

$$P = \frac{0.68 \times 4(2890[\text{Kg}] \cdot 9.8[\text{m/s}^2])}{\pi(0.095[\text{m}] - 2 \times 0.007[\text{m}])^2} = 3737.429[\text{KPa}]$$

$$P = 3737.429[\text{KPa}] \times \frac{1[\text{bar}]}{100[\text{KPa}]} = 37.374[\text{bar}]$$

Para la presión en el retroceso del cilindro, se realiza el siguiente análisis en la Figura 9-3.

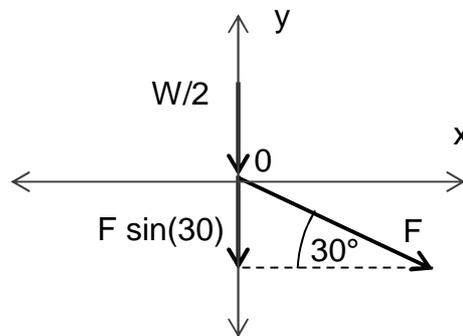


Figura 9-3. Diagrama del cuerpo libre para bajada de la recargadora

Utilizando la Ecuación 2 se obtiene:

$$-\frac{W}{2} - F \cdot \sin(30^\circ) = 0$$

$$-F = W$$

Esto quiere decir que, la fuerza necesaria para mantener el objeto en reposo o MRU, debe ser opuesta en el diagrama utilizado. En otras palabras se puede decir que el peso de la recargadora “W” sobre el émbolo del cilindro es suficiente para generar el movimiento de bajada de la recargadora.

Debido a esto la presión de trabajo en el retroceso no necesita ser mayor que en el avance del cilindro.

El cilindro hidráulico para giro de la recargadora (Figura 9-4), no interactúa directamente con el peso de esta, por tanto su presión de operación será menor (ANEXO A.2).

Los cilindros hidráulicos de la recargadora que realizan los movimientos de giro se muestran en la Figura 9-4, con sus dimensiones:

$l_e = 45[cm]$ Longitud del vástago

$l = 30[cm]$ Longitud de trabajo del émbolo

$e = 5[mm]$ Espesor del cilindro

$d = 38[mm]$ Diámetro del vástago

$D = 69[mm]$ Diámetro del cilindro

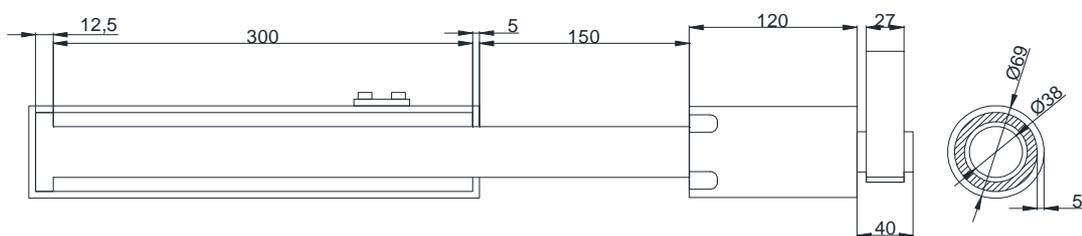


Figura 9-4. Corte transversal/frontal del cilindro hidráulico para giro de la recargadora

Como resultado la presión necesaria para subir la recargadora, será la presión mínima de operación del Sistema hidráulico de Recarga.

Con ese valor de Presión, se puede dimensionar el rango de operación de la bomba hidráulica hasta un 25% mayor de la operación nominal, obteniendo como resultado un manómetro con rango hasta 50 [bar] de presión.

$$P = 37.374[bar] \times 1.25 = 46.718[bar]$$

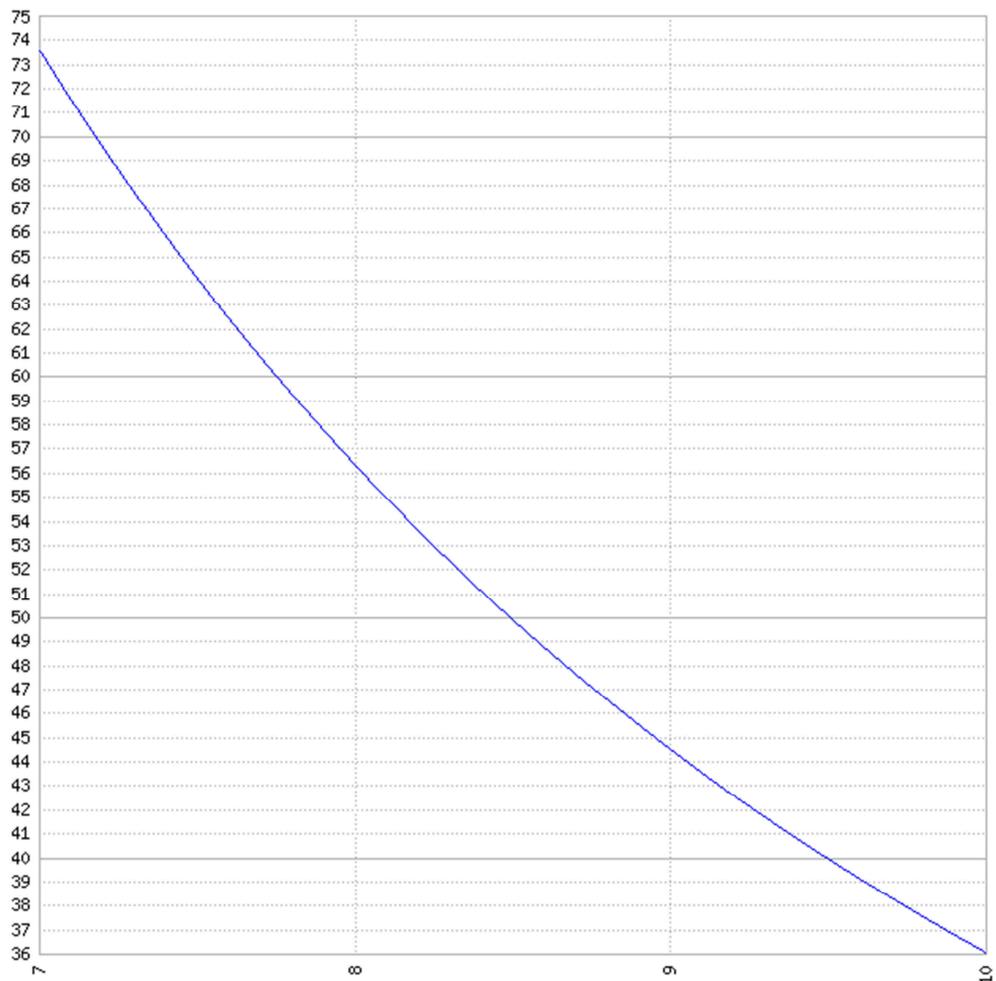
$$P \approx 50[\text{bar}]^{44}$$

9.2 ANEXO A.1 Efecto del diámetro del cilindro sobre la presión del mismo:

Manómetro de la bomba hidráulica

El diámetro del cilindro hidráulico (eje abscisas [7:10] [cm]) tiene gran efecto sobre la presión sobre el mismo cilindro (eje ordenadas [36:74] [bar]).

$$P = \frac{3606}{d_M^2} \Rightarrow \text{Para : } d_M \approx 8.1[\text{cm}] \rightarrow P = 54.96[\text{bar}]$$



⁴⁴ La presión extra necesaria para generar el movimiento es muy baja, < 1[KPa]

9.3 ANEXO A.2 Cálculo de la presión en el retroceso del émbolo:

En el retroceso del cilindro, la presión de 3737.429 [KPa] sobre el área menor ejerce una fuerza más que suficiente para el movimiento de bajada de la recargadora:

$$P = \frac{mg}{A_m^2} = \frac{mg}{\pi(r_M^2 - r_m^2)} = \frac{4mg}{\pi((D - 2e)^2 - d^2)} = \frac{4mg}{\pi((D - 2e)^2 - d^2)}$$

$$3737.429[KPa] = \frac{4mg}{\pi((0.12[m] - 2 \times 0.015[m])^2 - (0.05[m])^2)}$$

$$mg = 16.438[KN] \times \frac{1[Kgf]}{9.8[KN]} = 1.677[Kgf]$$

9.4 ANEXO A.3 Cálculo de la potencia de operación de la bomba hidráulica:

Para obtener el consumo de potencia de la bomba hidráulica, se analiza la presión necesaria para generar el movimiento en la recargadora, posteriormente se calcula la presión de pérdidas producida en la tubería, y finalmente se calcula el caudal necesario para generar el movimiento a la velocidad actual; de esta manera se obtiene la potencia de operación de la bomba hidráulica.

Se obtiene la potencia de consumo de la bomba mediante la Ecuación 3:

$$P_r = \frac{1}{\eta} QP$$

Ecuación 3. Consumo de potencia de una bomba hidráulica

Con caudal "Q" que necesita proporcionar la bomba hidráulica según la Ecuación 4:

$$Q = vA$$

Ecuación 4. Caudal provocado por un fluido normal a una sección plana

La bomba opera sobre una tubería que tiene tres secciones distintas:

- $\phi_B = 23[mm]$ Diámetro del reservorio hacia la bomba
- $\phi_T = 12[mm]$ Diámetro de la bomba a las electroválvulas
- $\phi_M = 17[mm]$ Diámetro de las mangueras sobre los cilindros hidráulicos

$$\phi = 95[mm] - 2(7[mm]) = 81[mm] \text{ Diámetro interno del cilindro hidráulico}$$

Obteniendo de la velocidad del fluido v sobre la sección del cilindro $A = \frac{\pi\phi^2}{4}$ con diámetro interno $\phi = 81[mm]$. La velocidad del fluido en la tubería es la que permite a la recargadora subir 12 [in] en 9.54[s] (con posición neutro y el motor a 600 [rpm]).

$$Q = \frac{0.30[m] \pi (0.081[m])^2}{9.54[s] \cdot 4}$$

$$Q = 1.620 \times 10^{-4} [m^3 / s] \times \frac{1000[l]}{1[m^3]}$$

$$Q = 0.162[l / s]$$

Y la presión necesaria sobre el circuito hidráulico Ecuación 5, donde la Presión de pérdidas se traduce en altura de pérdidas para el cálculo:

$$P_0 + \rho g h_0 + \frac{1}{2} \rho v_0^2 = P_f + \rho g h_f + \frac{1}{2} \rho v_f^2 + P_{perd}$$

Ecuación 5. Principio de Bernoulli - Hidrodinámica

Donde:

$P_0 = P$.- Presión necesaria de la bomba para impulsión

h_0 .- Altura a la que se encuentra la bomba

v_0 .- Velocidad del fluido a la salida de la bomba

P_f .- Presión del fluido sobre el cilindro hidráulico

h_f .- Altura que se encuentra el cilindro hidráulico

v_f .- Velocidad de desplazamiento del fluido sobre el cilindro hidráulico

$P_{perd} = \rho gh_{perd}$.- Presión de pérdidas en la tubería

La diferencia $h_f - h_0 = h = 80[cm]$ (altura entre bomba y cilindro) es la altura de trabajo, mientras que el caudal Q en la tubería es constante

$$v_f A_M = v_0 A_B .$$

$$P_0 = P_f + \frac{1}{2} \rho (v_f^2 - v_0^2) + \rho gh + \rho gh_{perd}$$

$$P_0 = P_f + \frac{1}{2} \rho \left(\left(\frac{v_0 A_B}{A_M} \right)^2 - v_0^2 \right) + \rho gh + \rho gh_{perd}$$

$$P_0 = P_f + \frac{1}{2} \rho v_0^2 \left(\left(\frac{4\pi\phi_B^2}{4\pi\phi_M^2} \right)^2 - 1 \right) + \rho gh + \rho gh_{perd}$$

$$P_0 = P_f + \frac{1}{2} \rho v_0^2 \left(\frac{\phi_B^4}{\phi_M^4} - 1 \right) + \rho gh + \rho gh_{perd}$$

$$P = P_f + \frac{1}{2} \rho v_0^2 \left(\frac{\phi_B^4}{\phi_M^4} - 1 \right) + \rho gh + \rho gh_{perd}$$

Siendo $gh + gh_{perd} = gH$ conocido como pérdida de carga. (Fox & McDonald, 1995)

$$P = P_f + \frac{1}{2} \rho v_0^2 \left(\frac{\phi_B^4}{\phi_M^4} - 1 \right) + \rho gH$$

La presión de trabajo máximo es $P_f = 37.374[bar]$ obtenida en "Instrumentación para el sistema de recarga", y la altura de carga se divide para el cálculo mediante la Ecuación 6 en:

$$H = h + h_f + h_m$$

Ecuación 6. Altura de carga de un sistema hidráulico

Donde:

h_f .- Altura de pérdidas por fricción

h_m .- Altura de pérdidas menores

Inicialmente se calcula la altura de pérdidas por fricción a través de la Ecuación 7:

$$h_f = \left(\sum f \frac{l}{\phi} \right) \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 7. Altura de pérdidas por fricción de un fluido sobre una tubería

Donde:

f .- Factor de fricción

$l_B = (20 + 14 + 40 + 30)[cm] = 1.04[m]$ Longitud de tubería con diámetro ϕ_B

$l_T = (40 + 15 + 20 + 24 + 14 + 9 + 14 + 8 + 16)[cm]$
 $+ 2 * (24 + 10 + 20 + 18 + 12) + 60 + 18[cm] = 7.76[m]$ Longitud de tubería con diámetro ϕ_T

$l_M = (4 * 40 + 2 * 27)[cm] = 2.14[m]$ Longitud de tubería con diámetro ϕ_M

El factor de fricción se puede obtener (ANEXO A.5) de la siguiente manera (Ecuación 8):

$$f = \frac{64}{Re}$$

Ecuación 8. Factor de fricción de un fluido laminar sobre una tubería

Donde:

$$\text{Re} = \frac{\phi v}{\mu_c} = \frac{4Q}{\pi \phi \mu_c} \text{.- Número de Reynolds}$$

Para obtener el Número de Reynolds se utiliza la tabla A-13 (Cengel) del ANEXO A.4 que indican la viscosidad cinemática de un aceite hidráulico a temperatura media de $\frac{T_i + T_o}{2} = \frac{25^\circ\text{C} + 95^\circ\text{C}}{2} = 60^\circ\text{C}$. La temperatura de entrada T_i es la temperatura ambiente, y la temperatura de salida T_o no debe exceder⁴⁵ de 93 – 95 °C.

$$\text{Re}_B = \frac{4(1.620 \times 10^{-4} [m^3 / s])}{\pi(0.023[m])8.565 \times 10^{-5} [m^2 / s]}$$

$$\text{Re}_B = 104.706$$

$$\text{Re}_T = \frac{4(1.620 \times 10^{-4} [m^3 / s])}{\pi(0.012[m])8.565 \times 10^{-5} [m^2 / s]}$$

$$\text{Re}_T = 200.686$$

$$\text{Re}_M = \frac{4(1.620 \times 10^{-4} [m^3 / s])}{\pi(0.017[m])8.565 \times 10^{-5} [m^2 / s]}$$

$$\text{Re}_M = 141.661$$

Por tanto el fluido es laminar en todo el circuito hidráulico, y se obtiene su factor de fricción:

$$f_B = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{104.706} = 0.611$$

$$f_T = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{200.686} = 0.319$$

⁴⁵ “Las temperaturas del aceite en el tanque de un sistema hidráulico no deben exceder de 93°C a 99 °C o habrá daños, porque puede haber falla de sellos” (Caterpillar, 2015)

$$f_M = \frac{64}{\text{Re}} = \frac{64}{141.661} = 0.452$$

La altura de pérdidas por fricción Ecuación 7, es:

$$h_f = \left(f_B \frac{l_B}{\phi_B} + f_T \frac{l_T}{\phi_T} + f_M \frac{l_M}{\phi_M} \right) \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = \left(0.611 \frac{1.04[m]}{0.023[m]} + 0.319 \frac{7.76[m]}{0.012[m]} + 0.452 \frac{2.14[m]}{0.017[m]} \right) \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{Con } v = \frac{0.30[m]}{9.54[s]} = 0.031[m/s]$$

$$h_f = 290.813 \frac{(0.031[m/s])^2}{2(9.8[m/s^2])}$$

$$h_f = 0.014[m]$$

Posteriormente con la Ecuación 9 se calcula la altura de pérdidas menores:

$$h_m = \left(\sum k_m \right) \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 9. Altura de pérdidas por singularidades de una tubería

Donde:

$\sum k_m$ Es la sumatoria de todas las singularidades (codos, válvulas, etc.)

Las singularidades (Andrew, 1986) que se encuentran en el sistema hidráulico para mover la recargadora se muestran en la Tabla 9-1:

Tabla 9-1.
Singularidades en el sistema hidráulico
para la recargadora

Cant.	Singularidad	k_m	k_m total
1	Entrada	0.5	0.5
16	Codo 90°	0.9	14.4
1	Válvula anti-retorno	1.6	1.6
6	T	1.2	7.2
2	Válvula 4/3	2.3	4.6
2	Salida	1.0	2.0
$\sum k_m$			30.3

$$h_m = (30.3) \frac{(0.031[m/s])^2}{2(9.8[m/s^2])}$$

$$h_m = 0.001[m]$$

Una vez obtenida la altura topográfica $h = 80[cm]$, la altura de pérdidas por fricción $h_f = 0.014[m]$ y la altura de pérdidas menores $h_m = 0.001[m]$ se obtiene la altura de carga mediante la Ecuación 6.

$$H = h + h_f + h_m = (0.800 + 0.014 + 0.001)[m]$$

$$H = 0.815[m]$$

La presión que necesita suministrar la bomba a acuerdo a la Ecuación 5, para lograr la presión de trabajo deseada $P_f = 37.374[bar]$:

$$P = P_f + \frac{1}{2} \rho v_0^2 \left(\frac{\phi_B^4}{\phi_M^4} - 1 \right) + \rho g H$$

$$P = P_f + \rho \left[\frac{v_0^2}{2} \left(\frac{\phi_B^4}{\phi_M^4} - 1 \right) + g H \right]$$

$$P = 37.374[bar] + 863.9[Kg/m^3] \left[\frac{(0.031[m/s])^2}{2} \left(\frac{(23[mm])^4}{(17[mm])^4} - 1 \right) + 9.8[m/s^2] \cdot 0.815[m] \right]$$

$$P = 37.374[\text{bar}] + 6.901[\text{KPa}] \cdot \frac{1[\text{bar}]}{100[\text{KPa}]} = 37.374[\text{bar}] + 0.069[\text{bar}]$$

$$P = 37.443[\text{bar}]$$

La bomba hidráulica necesita proporcionar un caudal de $Q = 0.162[\text{l/s}]$ a una presión de $P = 37.443[\text{bar}]$ para ejecutar los movimientos de la recargadora; para esto consume cierta potencia, obtenida de la Ecuación 3.

$$P_r = \frac{1}{\eta} QP = \frac{1}{0.8} (1.620 \times 10^{-4} [\text{m}^3 / \text{s}] (3744.329 [\text{KPa}]))$$

$$P_r = \frac{1}{\eta} QP = \frac{1}{0.8} (0.607 [\text{KW}])$$

$$P_r = 0.758 [\text{KW}]$$

Si el motor de la bomba hidráulica fuese DC, utilizar $V = 24[\text{V}]$ para suministrar una potencia de $P_r = 0.758 [\text{KW}]$, genera un consumo de corriente indicado a continuación:

$$P_r = V \cdot I \Rightarrow I = \frac{P_r}{V} = \frac{0.758 [\text{KW}]}{24 [\text{V}]}$$

$$I = 31.59 [\text{A}]$$

9.5 ANEXO A.4 Propiedades de líquidos:

Propiedades de líquidos para aceite de motor a temperatura de $60[^\circ\text{C}]$.

TABLA A-13

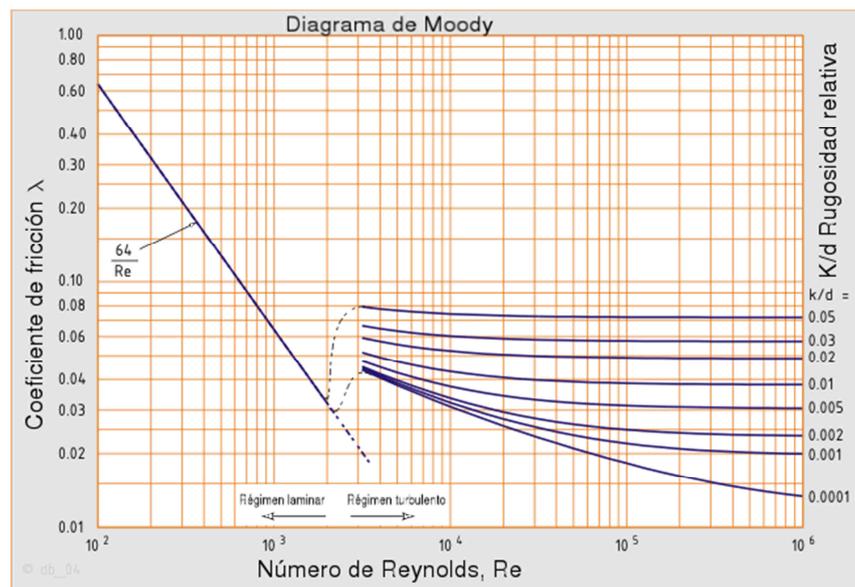
Propiedades de líquidos

Temp., T_f , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, C_p , J/kg·°C	Conductividad térmica, k , W/m·°C	Difusividad térmica, α , m ² /s	Viscosidad dinámica, μ , kg/m·s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr	Coefficiente de expansión volu- métrica, β , 1/K
<i>Aceite para motor (no usado)</i>								
0	899.0	1 797	0.1469	9.097×10^{-8}	3.814	4.242×10^{-3}	46 636	0.00070
20	888.1	1 881	0.1450	8.680×10^{-8}	0.8374	9.429×10^{-4}	10 863	0.00070
40	876.0	1 964	0.1444	8.391×10^{-8}	0.2177	2.485×10^{-4}	2 962	0.00070
60	863.9	2 048	0.1404	7.934×10^{-8}	0.07399	8.565×10^{-5}	1 080	0.00070
80	852.0	2 132	0.1380	7.599×10^{-8}	0.03232	3.794×10^{-5}	499.3	0.00070
100	840.0	2 220	0.1367	7.330×10^{-8}	0.01718	2.046×10^{-5}	279.1	0.00070
120	828.9	2 308	0.1347	7.042×10^{-8}	0.01029	1.241×10^{-5}	176.3	0.00070
140	816.8	2 395	0.1330	6.798×10^{-8}	0.006558	8.029×10^{-6}	118.1	0.00070
150	810.3	2 441	0.1327	6.708×10^{-8}	0.005344	6.595×10^{-6}	98.31	0.00070

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Originalmente basados en varias fuentes.

9.6 ANEXO A.5 Coeficiente de fricción de un fluido sobre una tubería:

Calculo del coeficiente de fricción de un fluido sobre una tubería, a partir del número de Reynolds.



9.7 ANEXO A.6 Cálculo de la potencia de operación del motor DC:

Para obtener el consumo de potencia del motor que permite el movimiento de avance/retroceso de la recargadora, se debe analizar la forma de deslizamiento de los marcos de la recargadora, y la forma de transmisión de potencia en la caja reductora.

Al ser un motor DC se calcula la corriente máxima de operación con los siguientes datos a través de la Figura 9-5:

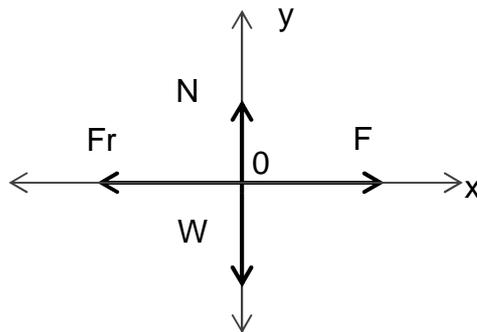


Figura 9-5. Diagrama del cuerpo libre para avance/retroceso de la recargadora

Utilizando la Ecuación 2 para ambos ejes se obtiene la fuerza necesaria para el desplazamiento de la recargadora:

$$\sum F_y = 0$$

$$N = W \Rightarrow N = mg$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F = Fr \Rightarrow F = \mu N \Rightarrow F = \mu mg$$

$$F = (0.1)(2890[Kg])(9.8[m/s^2]) = 2832.2[N] \quad ^{46}$$

$$F_{arranque} = (0.3)(2890[Kg])(9.8[m/s^2]) = 8496.6[N] \quad ^{47}$$

Utilizando la Ecuación 15, se calcula la potencia requerida para el movimiento de avance/retroceso de la recargadora:

$$P = F_t \omega r [W]$$

$$\omega r = \frac{2.78[m]}{6.86[s]} = 0.405[m/s]$$

⁴⁶ El coeficiente de rozamiento entre dos estructuras metálicas engrasadas se obtuvo de (Anónimo, 2015)

⁴⁷ El coeficiente de rozamiento entre metal y una zapata se obtuvo de (Anónimo, Frenos, 2015)

Este producto es la velocidad tangencial, medida por la distancia recorrida de avance 2.78[m] (117[in] -2.5[in] -5[in] longitud, espesor, espesor) en el tiempo de 6.86[s].

$$P = (2.832[KN])(0.405[m/s])$$

$$P = 1.148[KW]$$

Tomando en cuenta la eficiencia para motores DC generalmente del 80%.

$$P_r = \frac{1}{\eta} P$$

$$P_r = \frac{1}{0.8} 1.148[KW] = 1.435[KW]$$

$$V = 24[V]$$

$$P_r = V \cdot I \Rightarrow I = \frac{P_r}{V} = \frac{1.435[KW]}{24[V]} = 59.79[A]$$

El motor DC utilizado para el movimiento de avance/retroceso de la recargadora consume 59.79[A].

Y la corriente de arranque para vencer el freno tipo zapata sobre la base de la recargadora es el triple de la corriente de operación 179.37 [A].

9.8 ANEXO A.7 Cálculo de la potencia de operación de las electroválvulas:

El cálculo de potencia consumida por una válvula involucra, su funcionamiento interno y las propiedades físicas para lograr su conmutación; al carecer de datos técnicos de la misma o de la posibilidad de investigar su interior, se procede a calcular el consumo de corriente de una forma alternativa.

El consumo de corriente de la electroválvula se puede obtener con la Ecuación 10, a partir del tipo de cable que es utilizado para su activación AWG14:

$$I = \frac{eA}{\rho l}$$

Ecuación 10. Caída de tensión de tensión en una instalación eléctrica

Donde:

$e = 0.1[V]$.- Caída de tensión en el cable

$A = 2.080[mm^2]$.- Sección del cable AWG14

$\rho = 1.71 \times 10^{-8}[\Omega \cdot m]$.- Resistividad del material conductor (cobre) 20 °C – 25 °C

$l = (2 + 1.5 + 1.5 + 2 + 1 + 2 + 1.5)[m] = 11.5[m]$.- Longitud de línea eléctrica

$$I = \frac{0.1[V]2.080 \times 10^{-6}[m^2]}{(1.71 \times 10^{-8}[\Omega \cdot m])(11.5[m])}$$

$$I = 1.06[A]$$

La corriente necesaria para activar las electroválvulas no supera $I = 1.06[A]$ debido a las propiedades físicas de conducción del cable.

A partir de este consumo de corriente se obtiene la potencia de operación de cada electroválvula:

$$P_r = V \cdot I = (24[V]) \cdot (1.06[A]) = 25.44[W]$$

9.9 ANEXO A.8 Cálculo de la frecuencia de procesamiento de tres tipos de PLCs:

Se obtiene la frecuencia de procesamiento de cada tipo de PLC a partir del tiempo de scan, mediante la siguiente Ecuación 11:

$$t_{base} + t_{in} \times word_{in} + t_{out} \times word_{out} + t_{prog} \times mem_{d\&p} = t_{SCAN}$$

Ecuación 11. Tiempo de SCAN en un procesador

Donde:

t_{base} .- Tiempo de preparación general

t_{in} .- Tiempo de scan de entradas

$word_{in}$.- # de palabras de entrada

t_{out} .- Tiempo de scan de salidas

$word_{out}$.- # de palabras de salida

t_{prog} .- Tiempo de scan de programa

$mem_{d\&p}$.- Memoria de datos y programa de acuerdo a número de líneas de código

t_{SCAN} .- Tiempo de scan total

A partir de este resultado se calcula la frecuencia de ejecución del código de programa, con la Ecuación 12.

$$f_{ejec} = \frac{1}{t_{SCAN}}$$

Ecuación 12. Frecuencia de ejecución de código en un procesador

A continuación se calcula la frecuencia de procesamiento para tres tipos de PLC, con esto se tiene una referencia, para la selección sobre otros PLC.

PLC tipo NANO (Micrologix 1500) (RockwellAutomation, 2015)

Todos los tiempos están en [μ s]

$$t_{base} = 53 + 29 + 1100 + 240 = 1422[\mu s]$$

$$t_{in} = 3[\mu s]$$

$$word_{in} = 26[bits] \times \frac{1[word]}{16[bits]} = 1.625[word]$$

$$t_{out} = 2[\mu s]$$

$$word_{out} = 10[bits] \times \frac{1[word]}{16[bits]} = 0.625[word]$$

$$t_{prog} = 200[bytes] \times \frac{8[ms]}{1000[bytes]} \times \frac{1000[\mu s]}{1[ms]} = 1600 \text{.- } 600 \text{ líneas de código}$$

equivalen a 1 [Kbyte], se utiliza 200 [bytes] entre memoria de programa y datos.

$$1422 + 3 \times 1.625 + 2 \times 0.625 + 1600 = t_{SCAN}$$

$$3028.125[\mu s] = t_{SCAN}$$

$$3.028[ms] = t_{SCAN}$$

Este es el tiempo en que el PLC se demora en ejecutar una vez todo el programa, a una frecuencia según la Ecuación 12:

$$f_{ejec} = \frac{1}{3.028[ms]}$$

$$f_{ejec} = 0.330[KHz]$$

PLC tipo COMPACTO (CompactLogix SLC-500)
(RockwellAutomation, 2015)

Todos los tiempos están en [μ s]

$$t_{base} = 53 + 29 + 1100 + 240 = 1422[\mu s]$$

$$t_{in} = 2.4[\mu s]$$

$$word_{in} = 26[bits] \times \frac{1[word]}{16[bits]} = 1.625[word]$$

$$t_{out} = 2.4[\mu s]$$

$$word_{out} = 10[bits] \times \frac{1[word]}{16[bits]} = 0.625[word]$$

$$t_{prog} = 200[bytes] \times \frac{4.8[ms]}{1000[bytes]} \times \frac{1000[\mu s]}{1[ms]} = 960 \text{.- } 600 \text{ líneas de código}$$

equivalen a 1 [Kbyte], se utiliza 200 [bytes] entre memoria de programa y datos.

$$1422 + 2.4 \times 1.625 + 2.4 \times 0.625 + 960 = t_{SCAN}$$

$$2387.4[\mu s] = t_{SCAN}$$

$$2.387[ms] = t_{SCAN}$$

Este es el tiempo en que el PLC se demora en ejecutar una vez todo el programa, a una frecuencia según la Ecuación 12:

$$f_{ejec} = \frac{1}{2.387[ms]}$$

$$f_{ejec} = 0.418[KHz]$$

PLC tipo MODULAR (ControlLogix 1785 PLC-5)
(RockwellAutomation, 2015)

Todos los tiempos están en [μ s]

$$t_{base} = 53 + 29 + 1100 + 240 = 1422[\mu s]$$

$$t_{in} = 1.3[\mu s]$$

$$word_{in} = 26[bits] \times \frac{1[word]}{16[bits]} = 1.625[word]$$

$$t_{out} = 1.6[\mu s]$$

$$word_{out} = 10[bits] \times \frac{1[word]}{16[bits]} = 0.625[word]$$

$$t_{prog} = 200[bytes] \times \frac{2[ms]}{1000[bytes]} \times \frac{1000[\mu s]}{1[ms]} = 400 \text{.- } 600 \text{ líneas de código}$$

equivalen a 1 [Kbyte], se utiliza 200 [bytes] entre memoria de programa y datos.

$$1422 + 1.3 \times 1.625 + 1.6 \times 0.625 + 400 = t_{SCAN}$$

$$1825.1125[\mu s] = t_{SCAN}$$

$$1.825[ms] = t_{SCAN}$$

Este es el tiempo en que el PLC se demora en ejecutar una vez todo el programa, a una frecuencia según la Ecuación 12:

$$f_{ejec} = \frac{1}{1.825[ms]}$$

$$f_{ejec} = 0.548[KHz]$$

9.10 ANEXO A.9 Cálculo de la potencia de operación de los servomotores de posicionamiento:

La potencia activa máxima de salida que cada Servo Motor puede entregar es de 3 [KW]

Para obtener la potencia consumida del generador (potencia aparente) de cada uno, se va a recurrir a la ecuación Ecuación 13:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3}V_L I_L [\text{VA}]$$

Ecuación 13. Potencia aparente de un circuito trifásico

Se necesita obtener la máxima potencia eléctrica que va a consumir el motor, para ello se utiliza la corriente que necesita el motor para entregar el mayor torque posible (Tabla 2-1), esto es:

$$I_L = 42.3[\text{A}] \text{ para un máximo torque (con un bajo factor de potencia) y}$$

$$V_L = 230[\text{V}] \text{ como voltaje de operación}$$

Entonces la máxima potencia que tomará el motor del generador es:

$$S = \sqrt{3}(230[\text{V}])(42.3[\text{A}])$$

$$S = 16.851[\text{KVA}]$$

Sin embargo no se utiliza el Servo Motor a la máxima capacidad, ya que dispone de una caja reductora para transmitir la potencia del eje del motor al último engrane que levanta el paquete guía, aprovechando la alta velocidad de giro del eje del motor, para convertirla en un alto par de fuerzas entregado al eje final.

La potencia del eje del motor se puede obtener de la Ecuación 14:

$$P = T\omega[\text{W}]$$

Ecuación 14. Potencia transmitida por un eje

Donde:

T es el par de fuerzas que transmite el eje [Nm]

ω es la velocidad angular a la que gira el eje del motor [rad/s]

El paquete guía necesita de cierta potencia sobre el eje que permite su elevación, esto se define mediante la Ecuación 15:

$$P = F_t \omega r [W]$$

Ecuación 15. Esfuerzo tangencial sobre un engrane

Donde:

F_t es el esfuerzo tangencial sobre el último engrane de la caja reductora (peso de estructura (Anónimo, Military Today, 2015)) [N]

ω es la velocidad angular a la que gira el último engrane de la caja reductora [rad/s]

r es el radio primitivo del último engrane de la caja reductora [m]

El paquete guía se demora 26.094 [s] en girar 3000 [milésimas de artillería]⁴⁸ cuando el eje del Servo Motor gira 2110 veces. Se define la velocidad angular ω_1 correspondiente al giro del eje motor, y la velocidad angular ω_2 correspondiente al giro del último engrane de la caja reductora.

Elevación:

Para elevarse 45° el paquete guía utiliza 28 dientes de su cremallera, ocupando cada diente y ranura un arco de 2.5 [cm]:

⁴⁸ Unidad militar de medida angular, utilizada en artillería donde 6400 [mil] equivale a 360°

$$1167[mil] \times \frac{360^\circ}{6400[mil]} \times \frac{28dientes}{45^\circ} \approx 41 \text{ dientes para elevarse } 1167$$

milésimas

El radio del último engrane es aproximadamente 11[cm], por tanto el ángulo para ocupar los 41 dientes de 2.5 [cm] se obtiene de:

$$L = r \times \phi$$

Ecuación 16. Longitud de arco de una circunferencia

Donde:

L es la longitud del arco de la circunferencia

r es el radio de la circunferencia

ϕ es el ángulo entre los dos radios de la circunferencia para formar el arco

$$\phi = \frac{L}{r} = \frac{2.5[m]}{11[cm]} \times 41 = 9.318[rad] \text{ que gira el engrane para elevar } 1167$$

milésimas al paquete guía.

Ya que se configuraron los dos Servo Motores de elevación y dirección para girar a la misma velocidad.

$$\omega_1 = 2110[rev] / 26.094[s] \times \frac{2\pi[rad]}{1[rev]}$$

$$t = 1167[mil] \times \frac{26.094[s]}{3000[mil]} = 10.151[s] \text{ se demora en elevar } 1167 [mil] \text{ ya}$$

que el motor gira a velocidad constante.

$$\omega_2 = 9.318[rad] / 10.151[s]$$

Por tanto la potencia (Ecuación 15) del eje que permite la elevación del paquete guía depende de:

La estructura tiene un peso de 256 [Kg]; Existen 40 cohetes de 66 [Kg] c/u. La velocidad de giro del último engrane es $\omega_2 = 0.918[\text{rad} / \text{s}]$, y el radio primitivo de este es $r = 0.11[\text{m}]$

$$P = ((256[\text{Kg}] + 40 \times 66[\text{Kg}]) \times 9.8[\text{m} / \text{s}^2]) (0.918[\text{rad} / \text{s}]) (0.11[\text{m}])$$

$$P = 2865.893[\text{W}]$$

Esta potencia será la que debe entregar el último engrane para elevar el paquete guía, y por tanto es la potencia que deberá suministrar el eje del motor (debido a que la potencia de salida es igual a la potencia de entrada en una caja reductora con engranes); entonces se obtiene el par de fuerzas que entrega el motor cuando gira a la velocidad angular $\omega_1 = 508.068[\text{rad} / \text{s}]$ con una potencia $P = 2865.893[\text{W}]$, mediante la Ecuación 14.

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{2865.893[\text{W}]}{508.068[\text{rad} / \text{s}]}$$

$$T = 5.641[\text{Nm}]$$

Este par de fuerzas que debe entregar el eje del motor para elevar la estructura requiere una corriente de suministro, la que se obtiene de acuerdo a la relación torque/corriente de la Tabla 2-1.

$$I = 5.641[\text{Nm}] \times \frac{17.4[\text{A}]}{14.3[\text{Nm}]}$$

$$I = 6.864[\text{A}]$$

De aquí se calcula la potencia aparente que necesita el motor consumir del generador eléctrico STAMFORD, mediante la Ecuación 13.

$$S = \sqrt{3}(230[\text{V}]) (6.864)[\text{A}]$$

$$S = 2.734[KVA]$$

Dirección:

El motor de dirección necesitará tanto o menos potencia (que en elevación) del generador para ejecutar su movimiento, por tanto el máximo consumo de potencia por parte de los Servo Motores es:

$$S = 5.469[KVA]$$

9.11 ANEXO A.10 Cálculo del tiempo de ejecución del proceso (y mando) modernizado

Existe una reducción en el tiempo de operación en dos aspectos, mando y proceso.

Mando

El tiempo de operación entre tablero y pantalla son distintos, debido a la cantidad de botones que se exponen en ambas interfaces, estos tiempos se calculan mediante la Ecuación 17.

$$RT = a + b * (\log_2(n))$$

Ecuación 17. Segunda ley de Hick

Donde:

RT .- Tiempo de respuesta entre operaciones consecutivas

$a = 3[s]$.- Tiempo total que no está implicado en la toma de decisión

$b = 0.155[s]$.- Constante empírica basada en el tiempo de procesado cognitivo para cada opción (0,155 [s] para los seres humanos)

n .- Número de alternativas posibles (Tablero $n = 20$; Pantalla $n = 16$)

Con la Ecuación 17 se determina el tiempo de respuesta del operador ante el tablero y pantalla, mostrado a continuación:

$$\text{Tablero: } RT = 3 + 0.155 * (\log_2(20)) = 3 + 0.155 * (4.322) = 3.67[s]$$

$$\text{Pantalla: } RT = 3 + 0.155 * (\log_2(16)) = 3 + 0.155 * (4) = 3.62[s]$$

Proceso

Los tiempos de ejecución del proceso de carga y recarga se detallan para la operación del sistema actual y el sistema modernizado.

El sistema de recarga actual y el modernizado operan bajo el mismo sistema hidráulico, es por esto que se ejecutan 6 pasos en un promedio de 8 [s] cada uno, de igual manera para ambos sistemas.

$$t_{hid_act} = t_{hid_mod} = 6 \times 8[s] = 48[s]$$

El sistema actual se toma 5 [s] entre los pasos (comprobar la finalización de un paso y la ejecución del siguiente), siendo 8 ya que no está habilitado el modo automático; y el sistema modernizado se toma 2 [s] entre los pasos (comprobar la finalización de un paso y la ejecución del siguiente), siendo 4 ya que no existe tiempo entre la ejecución de un pasos y otro en el modo semiautomático.

$$t_{paso_act} = 5 \times 8[s] = 40[s]$$

$$t_{paso_mod} = 2 \times 4[s] + 0 \times 4[s] = 20[s]$$

Ya que el motor DC no está habilitado en el sistema actual, se toma 80 [s] en el acople de la manija de avance, y 80 [s] en el desacople.

$$t_{acop_act} = 2 \times 80[s] = 160[s]$$

$$t_{acop_mod} = 0[s]$$

Para reemplazar la operación del motor en el sistema actual se toma cerca de 7 [min] en el avance manual y 7 [min] en el retroceso manual; y al sistema modernizado le toma cerca de 7 [s] en el avance y 7 [s] en el retroceso.

$$t_{motor_act} = 2 \times 7[\text{min}] \times \frac{60[\text{s}]}{1[\text{min}]} = 840[\text{s}]$$

$$t_{motor_mod} = 2 \times 7[\text{s}] = 14[\text{s}]$$

Finalmente existe un tiempo adicional para verificar que los cohetes estén bien sujetos al paquete guía, el cual es considerablemente menor cuando se realizó la recarga con la operación del motor.

10 ANEXO B Código del programa (PLC):

Cada subrutina ejecuta un movimiento (excepto semiautomático, limitar pasos y condición falla) y funciona bajo la tabla de verdad, Tabla 10-1.

Tabla 10-1.
Activación de actuadores de acuerdo a medición de sensores

ENTRADAS (C)							VÁLVULAS (C)				MOTOR		
25	23	37	26	38	36	35	16	15	18	17	C	R	EIM
1	X	0	X	X	X	X	1	0	0	0	0	0	0
1	0	X	1	X	1	X	0	1	0	0	0	0	0
X	X	1	0	X	1	X	0	0	1	0	0	0	0
X	X	1	0	X	1	X	0	0	0	1	0	0	0
X	X	1	1	0	X	X	0	0	0	0	1	0	1
X	X	1	1	X	X	0	0	0	0	0	0	1	1

10.1 Subir

Para ejecutar el paso I “LEVANTAR” se deben cumplir las siguientes condiciones:

1. Se haya encendido N3 (pantalla encendida)
2. A12 no se haya activado
3. A17 “INTERRUPTOR DE CONTROL” este desactivado
4. A15 esté en posición “SUBIR”
5. A14 esté presionado
6. Recargadora no esté arriba (C37 desactivado)
7. Garras estén desenclavadas (C24, C25 activado)
8. Paquete guía en posición 0° elevación (C27 activado) y 90° (C28 activado)

Solo si se cumplen todas estas condiciones, llega energía a la válvula C16, y si fluye aceite por la tubería, se ejecuta el movimiento de subida.

El código de programa para representar esto, se muestra en la Figura 10-1.

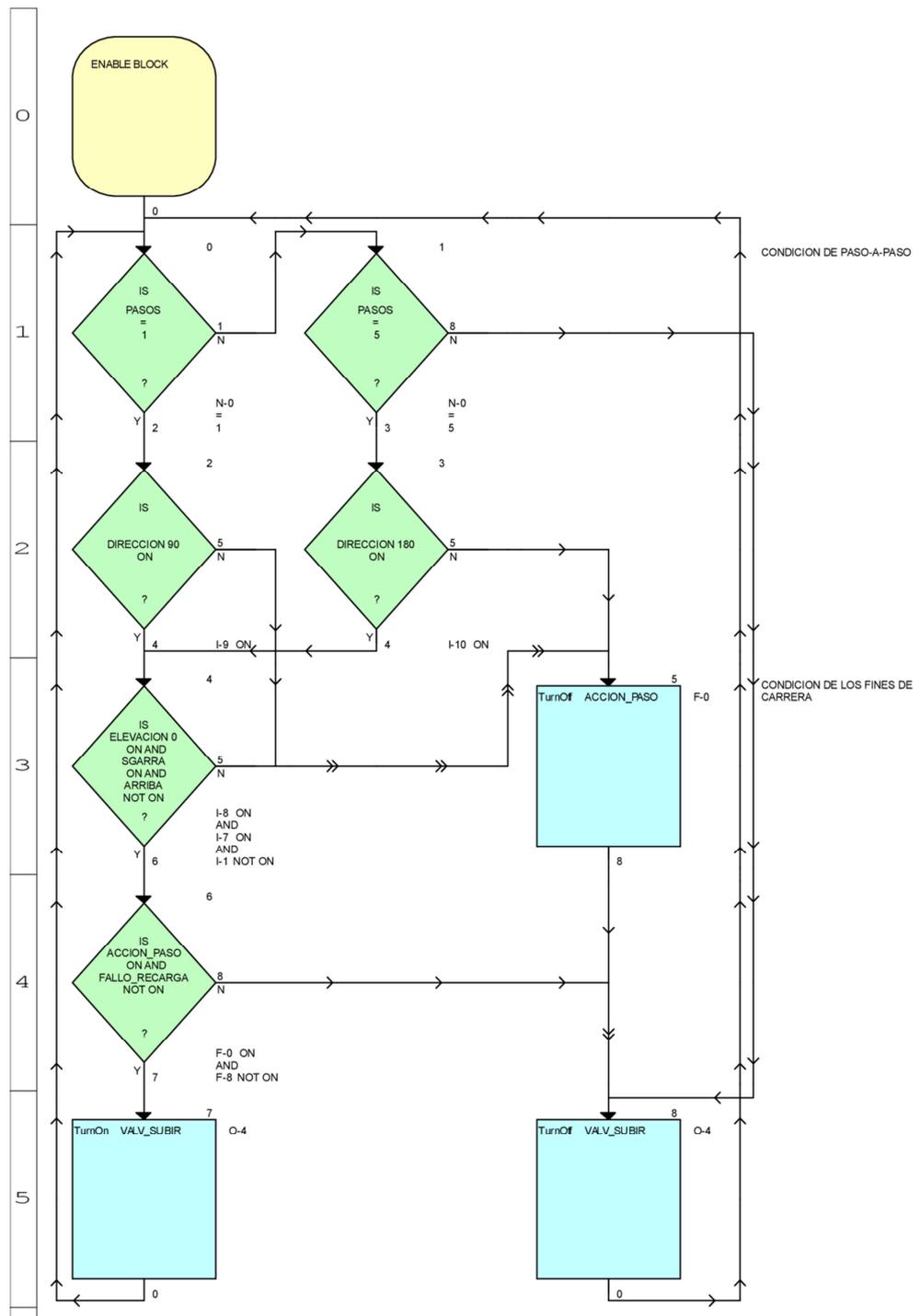


Figura 10-1. Subrutina SUBIR

10.2 Bajar

Asimismo, si se cumplen todas las condiciones de la Figura 10-2, llega energía a la válvula C15, y si fluye aceite por la tubería, se ejecuta el movimiento de bajada.

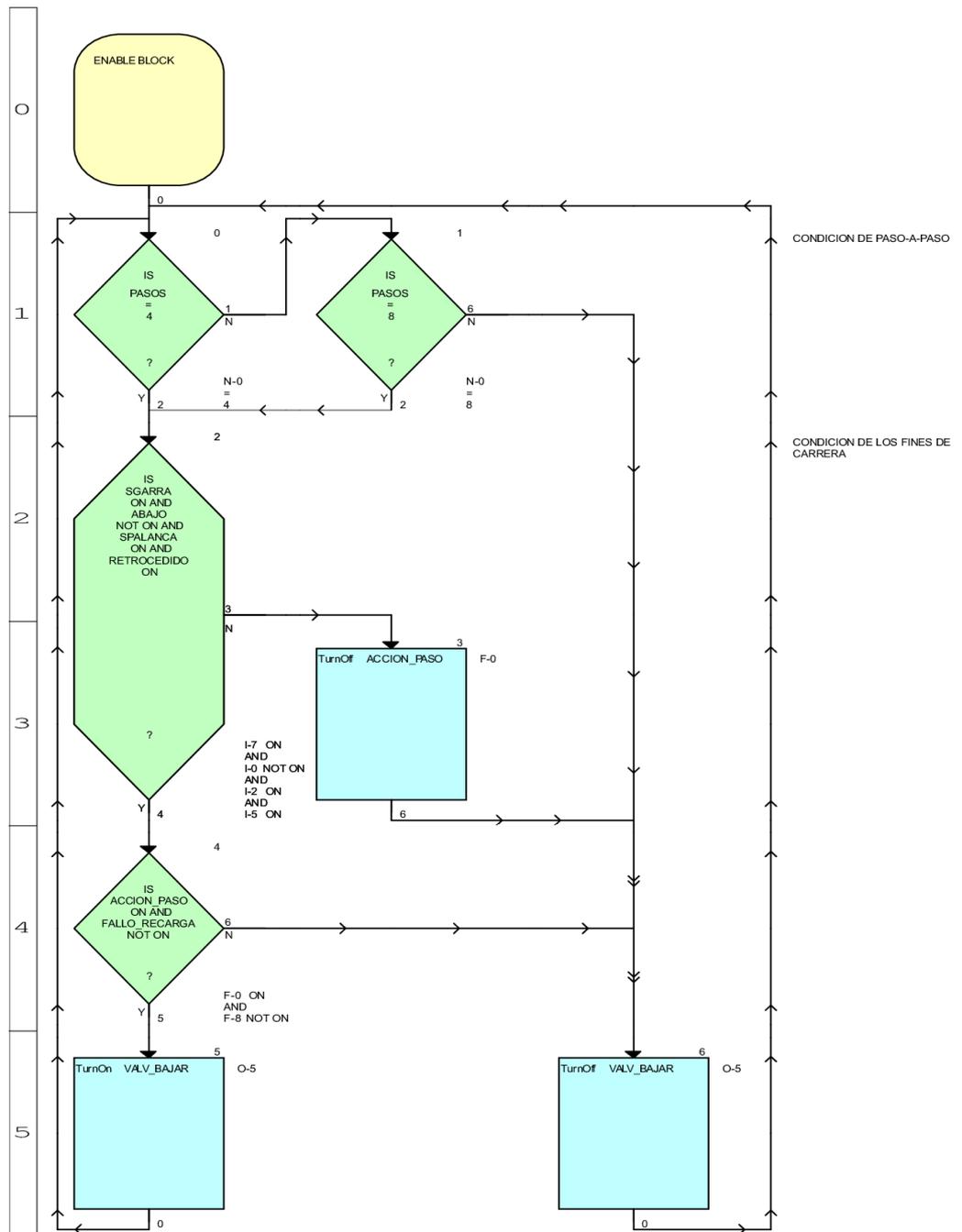


Figura 10-2. Subrutina Bajar

10.3 Girar a -90°

Nuevamente, si se cumplen todas las condiciones de la Figura 10-3, llega energía a la válvula C18, y si fluye aceite por la tubería, se ejecuta el movimiento de giro.

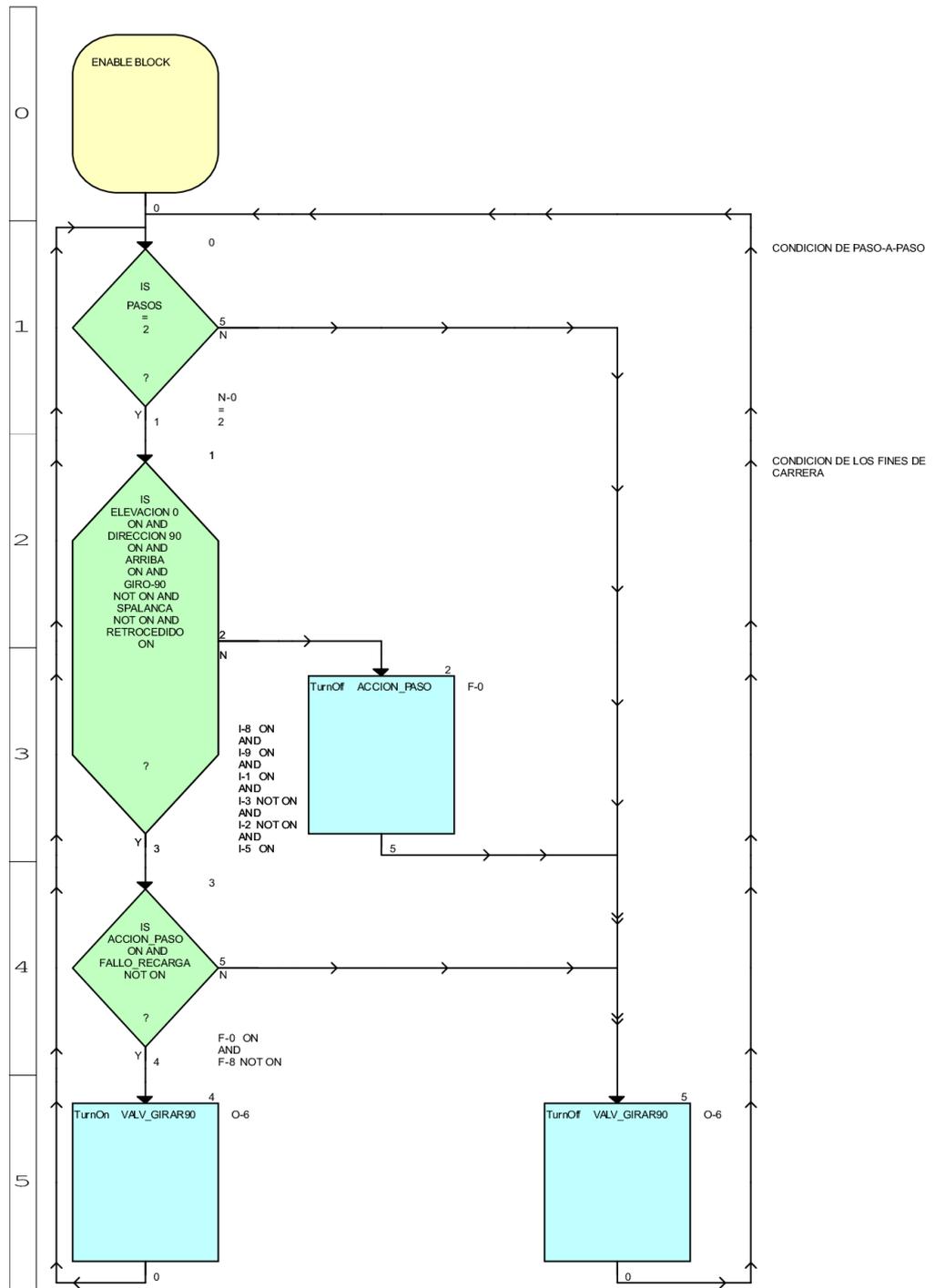


Figura 10-3. Subrutina Girar a -90°

10.4 Girar a 0°

Si se cumplen todas las condiciones de la Figura 10-4, llega energía a la válvula C17, y si fluye aceite por la tubería, se retorna el movimiento de giro.

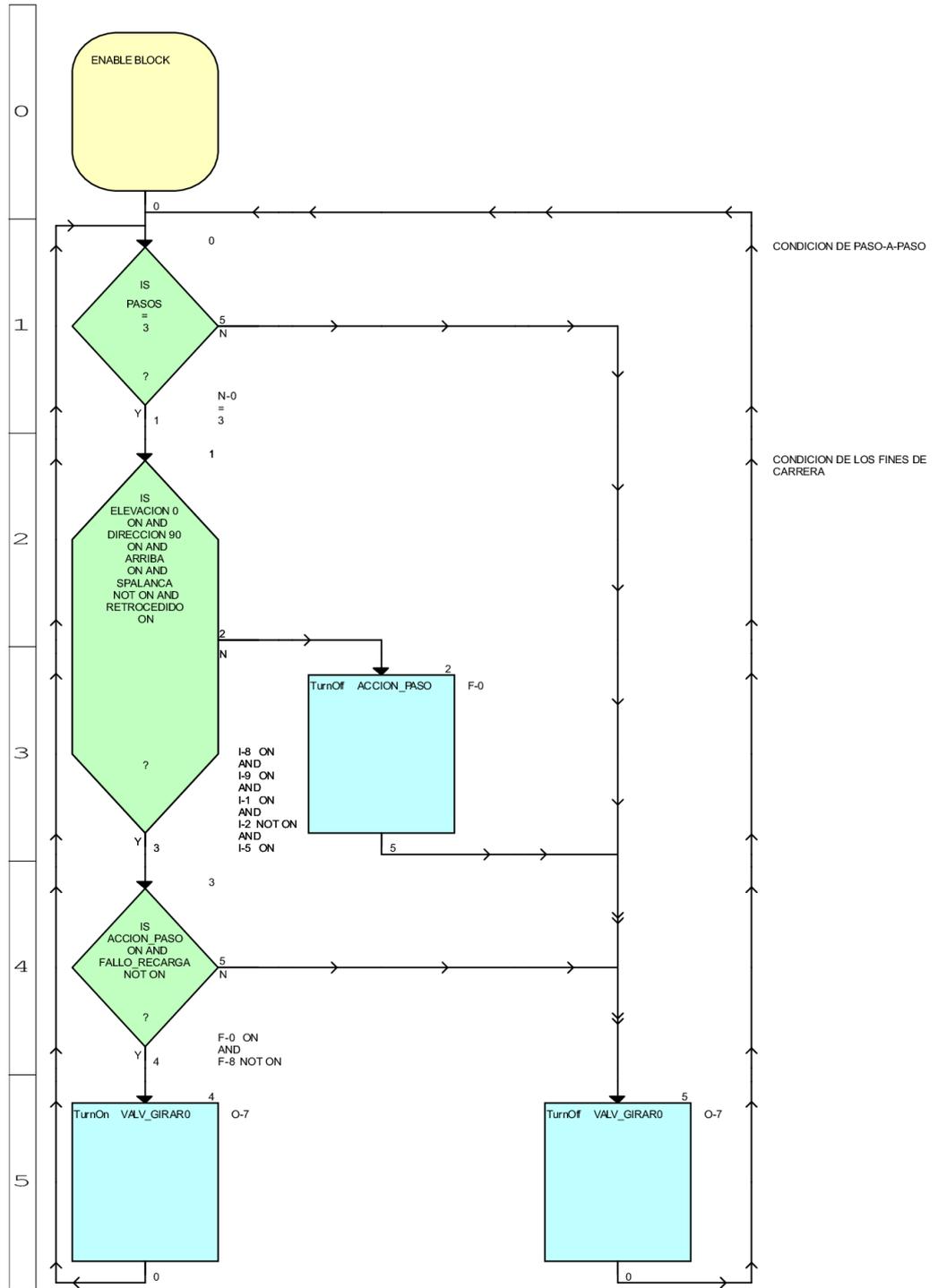


Figura 10-4. Subrutina Girar a 0°

10.5 Recargar

Si se cumplen todas las condiciones de la Figura 10-5, se activa el giro horario del eje del motor, y se ejecuta el movimiento de avance.

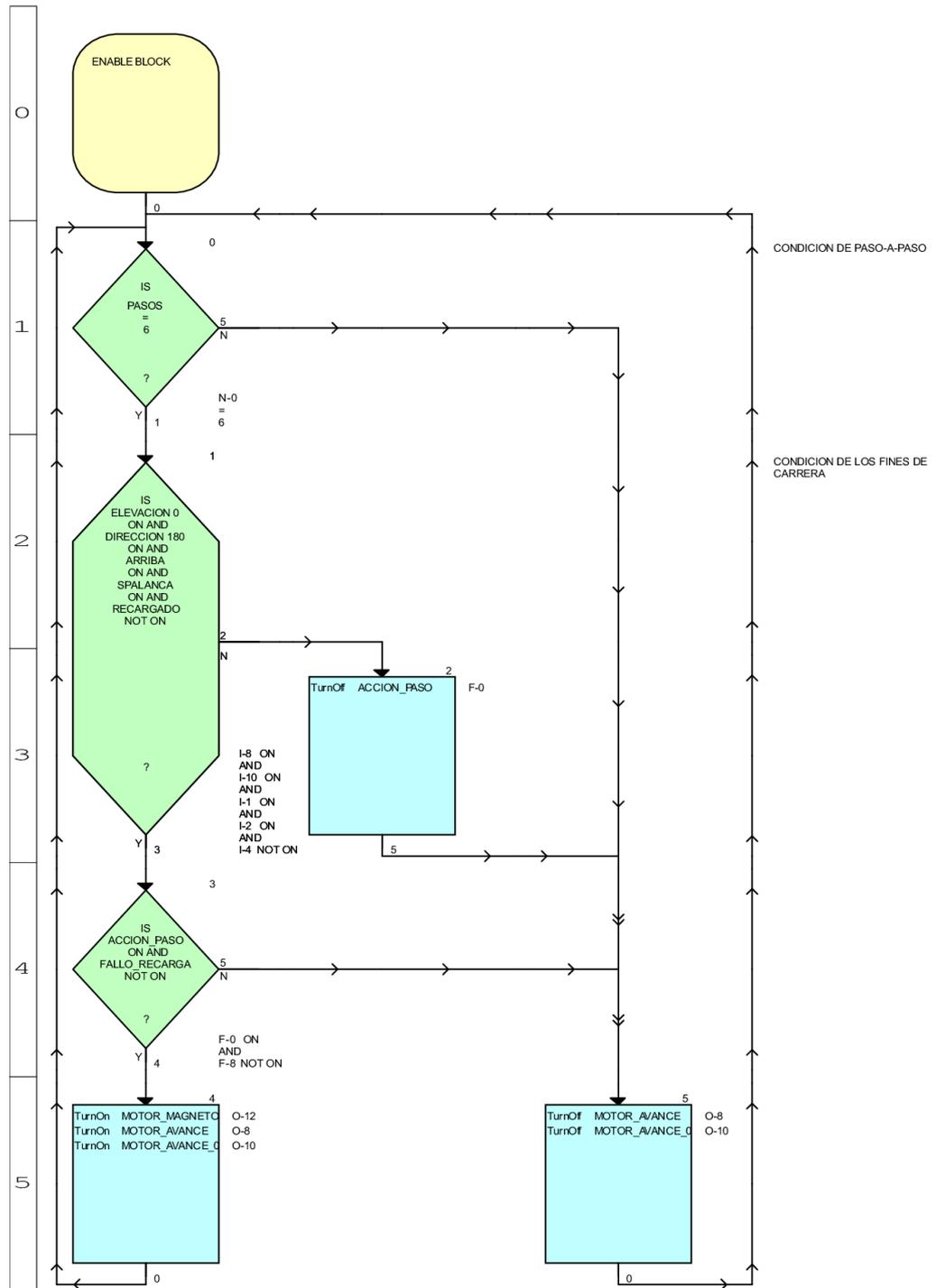


Figura 10-5. Subrutina Recargar

10.6 Retroceder

Si se cumplen todas las condiciones de la Figura 10-6, se activa el giro anti-horario del eje del motor, y se ejecuta el movimiento de retroceso.

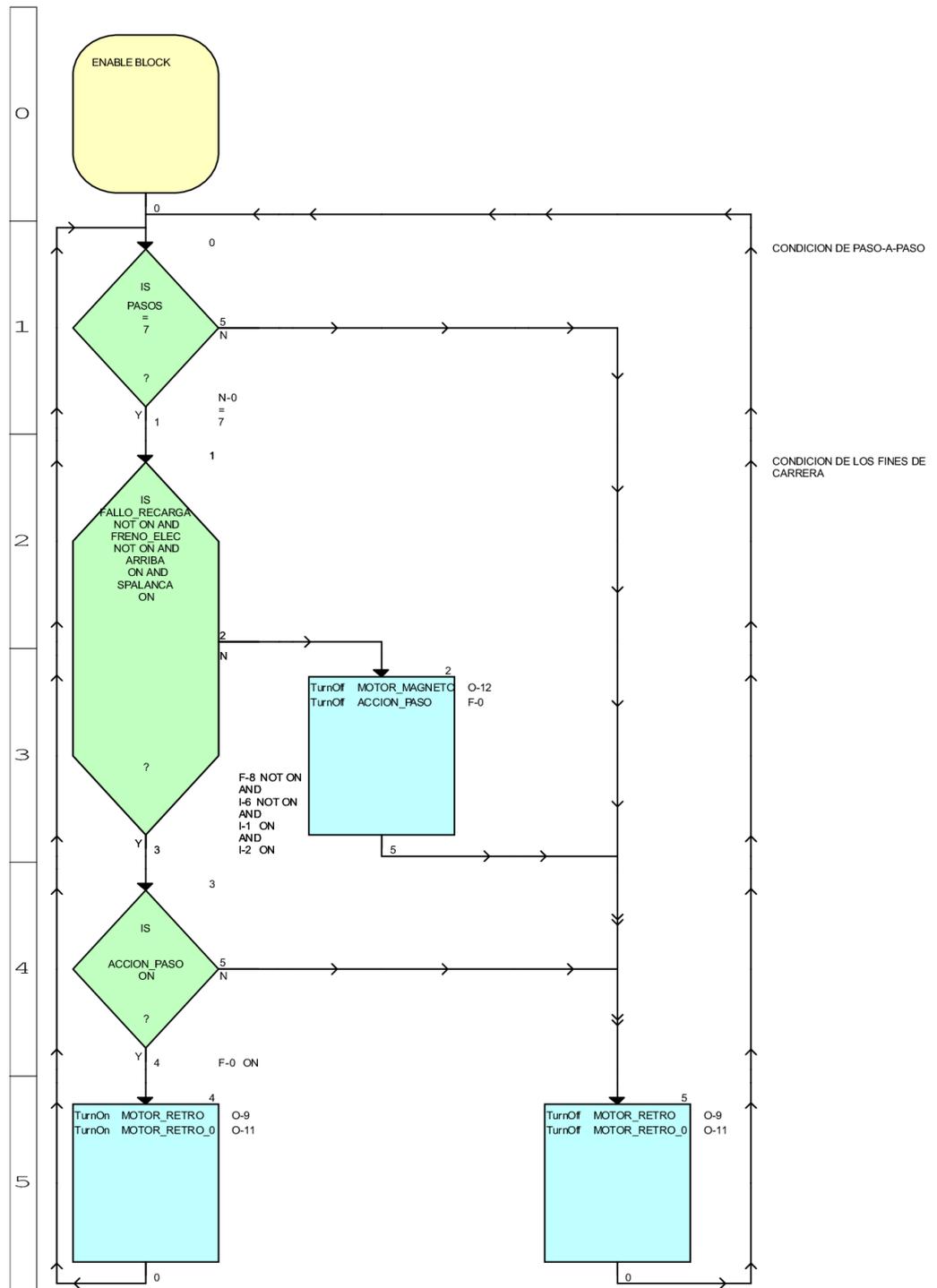


Figura 10-6. Subrutina Retroceder

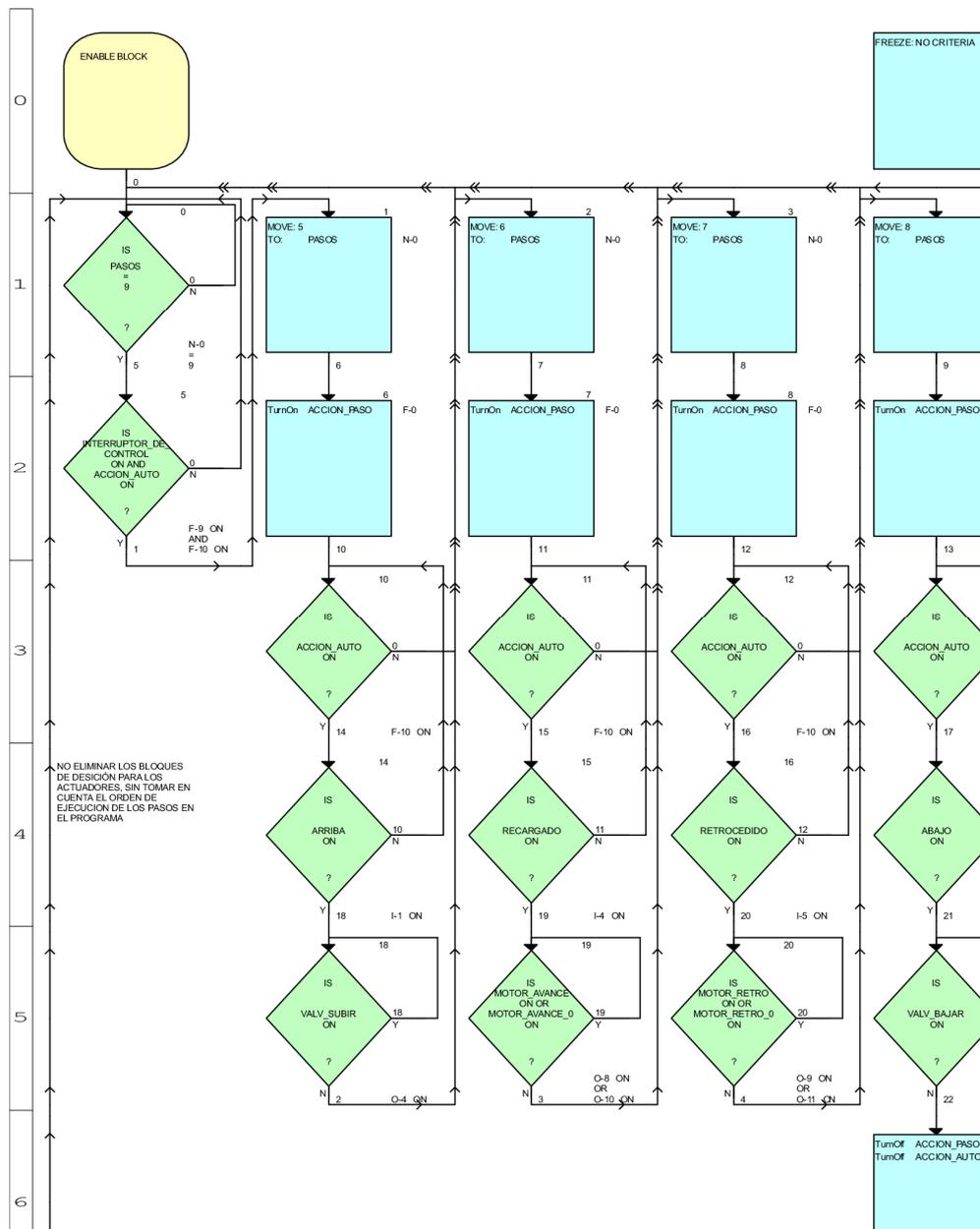


Figura 10-8. Subrutina Recarga Automática

10.9 Condición de Falla

Esta subrutina, al presionar A12 desactiva todas las salidas, y bloquea el sistema; y lo reestablece al presionar A13, como se muestra en la Figura 10-9.

Tabla 10-2.
Variables I/O del controlador principal DEV002

Etiqueta	Tipo	Dirección	Mapeo
ABAJO	Discreto	I0	SLOT2_B0
ARRIBA	Discreto	I1	SLOT2_B1
SPALANCA	Discreto	I2	SLOT2_B2
GIRO-90	Discreto	I3	SLOT2_B3
RECARGADO	Discreto	I4	SLOT2_B4
RETROCEDIDO	Discreto	I5	SLOT2_B5
FRENO_ELEC	Discreto	I6	SLOT2_B6
SGARRA	Discreto	I7	SLOT2_B7
MOTOR_AVANCE_0	Discreto	O10	SLOT1_B4
MOTOR_RETRO_0	Discreto	O11	SLOT1_B5
MOTOR_MAGNETO	Discreto	O12	SLOT0_B0
VALV_SUBIR	Discreto	O4	SLOT1_B0
VALV_BAJAR	Discreto	O5	SLOT1_B1
VALV_GIRAR90	Discreto	O6	SLOT1_B2
VALV_GIRAR0	Discreto	O7	SLOT1_B3
MOTOR_AVANCE	Discreto	O8	SLOT1_B6
MOTOR_RETRO	Discreto	O9	SLOT1_B7

Tabla 10-3.
Relación de variables entre: controlador principal (izquierda),
y controlador implementado (derecha)

Etiqueta	Tipo	Dirección	Variable relación
DIFERENCIA	Ent_cs_32	N12	-> COHETES
DIRECCION180	Discreto	I9	-> DIRECCION_180
DIRECCION90	Discreto	I8	-> DIRECCION_90
ELEVACION0	Discreto	I7	-> ELEVACION_0
PULSOS_D	Ent_cs_32	N37	<- DIRECCION_PUL
PULSOS_E	Ent_cs_32	N29	<- ELEVACION_PUL
REVOLUCIONES_D	Ent_cs_32	N36	<- DIRECCION_REV
REVOLUCIONES_E	Ent_cs_32	N28	<- ELEVACION_REV
RX_D	Ent_cs_32	N31	-> PV_DIRECCION_REV
RX_E	Ent_cs_32	N23	-> PV_ELEVACION_REV
STOP	Discreto	F4	<-> FALLO_RECARGA

Tabla 10-4.
Variables de memoria del controlador principal DEV002

Etiqueta	Tipo	Dirección	Función
ACCION_PASO	Discreto	F0	A14
ACCION_AUTO	Discreto	F10	A16
DIRECCION_180	Discreto	F14	C27
DIRECCION_90	Discreto	F15	C28
ELEVACION_0	Discreto	F16	C39
REESTABLECER	Discreto	F6	A13
FALLO_RECARGA	Discreto	F8	A12
INTERRUPTOR_DE_CONTROL	Discreto	F9	A17
PASOS	Ent_cs_32	N0	A15
INICIO_ELEVACION	Ent_cs_32	N11	Posición inicial en elevación
INICIO_DIRECCION	Ent_cs_32	N12	Posición inicial en dirección
ELEVACION_REV	Ent_cs_32	N2	Revoluciones a mover en elevación
PV_DIRECCION_REV	Ent_cs_32	N22	Lectura de la dirección en [rev]
PV_ELEVACION_REV	Ent_cs_32	N23	Lectura de la elevación en [rev]
ELEVACION_PUL	Ent_cs_32	N3	Pulsos a mover en elevación
DIRECCION_REV	Ent_cs_32	N5	Revoluciones a mover en dirección
DIRECCION_PUL	Ent_cs_32	N6	Pulsos a mover en dirección
COHETES	Ent_cs_32	N29	Número de cohetes en el paquete guía

La lectura de dirección y elevación se resta del valor inicial correspondiente, y la diferencia se desplaza en dirección o elevación.

La pantalla también posee sus variables internas (Tabla 10-5), para manejo de la interfaz gráfica.

Tabla 10-5.
Variables de memoria interna de pantalla <INTERNAL>

Etiqueta	Tipo	Función
AYUDA_PASOS_RECARGA	Discreto	Ampliación de ayuda
SYS CLOCK200MS	Discreto ⁴⁹	Señal de un evento para copiar las variables necesarias
IR_AYUDA_RECARGA	Discreto	Ingreso y salida de la ventana de ayuda

11 ANEXO C Diagramas Generales:

En este anexo se presentan principalmente los diagramas de interconexión para el controlador principal y de respaldo, adicionalmente se indican la ubicación de los limitadores de posición en el RM-70, el modelo de la interfaz gráfica y el diagrama de protección para las fuentes del PLC, pantalla y conmutador.

⁴⁹ Se repite 100 [ms] encendido y 100 [ms] apagado

11.1 Controlador principal

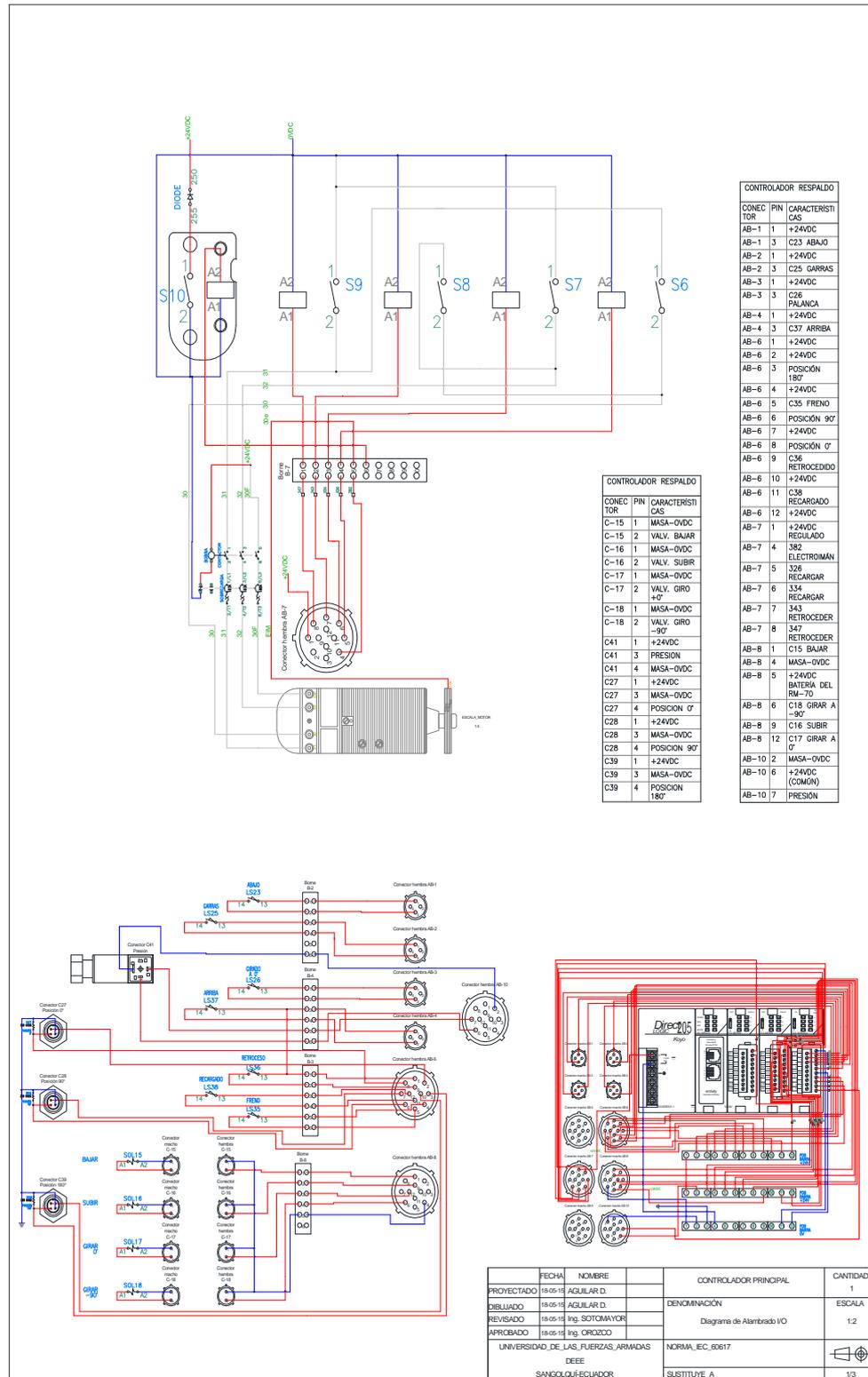


Figura 11-1. Sistema de control principal

11.2 Controlador respaldo

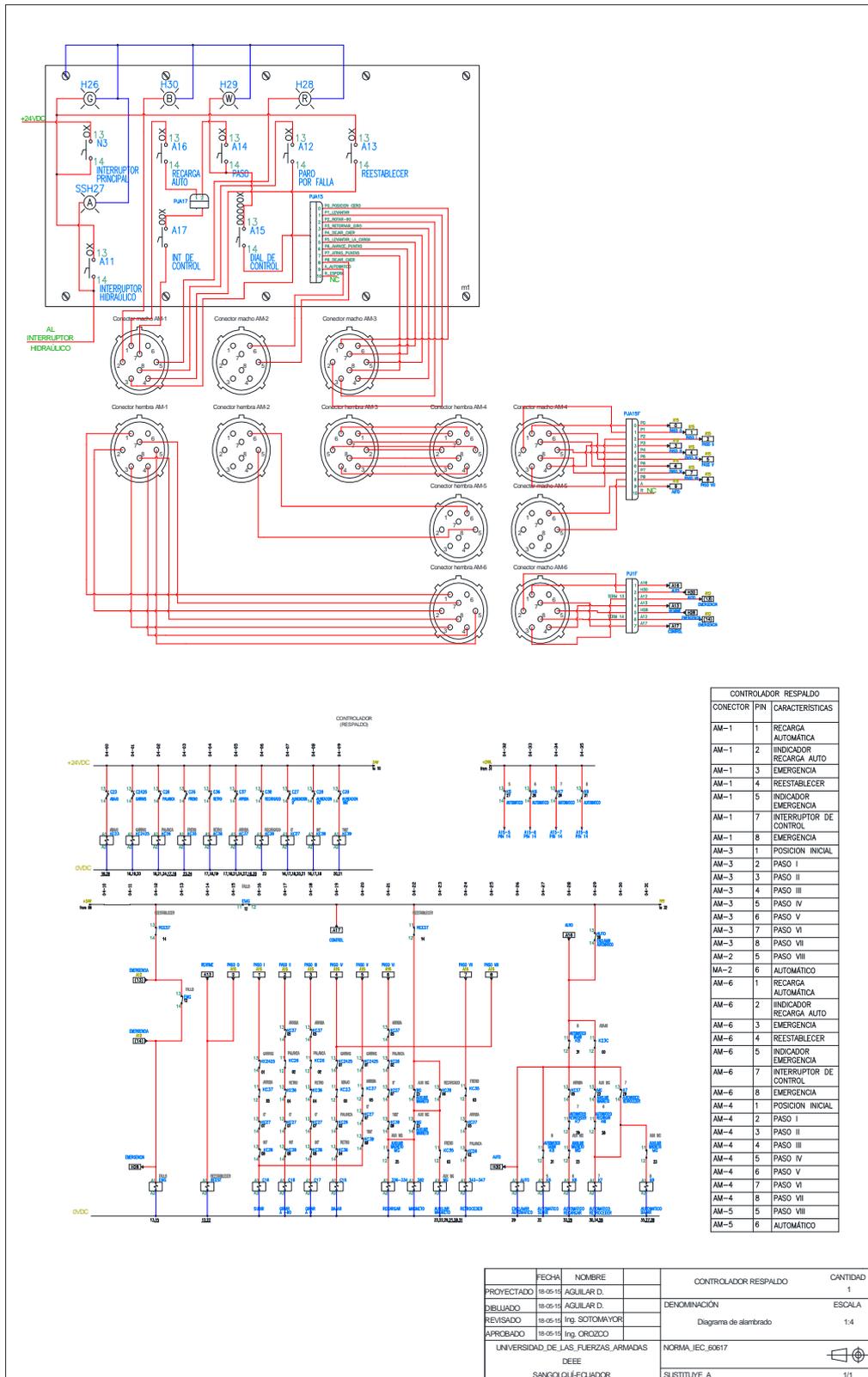


Figura 11-2. Sistema de control respaldo

11.3 Ubicación de los limitadores de posición

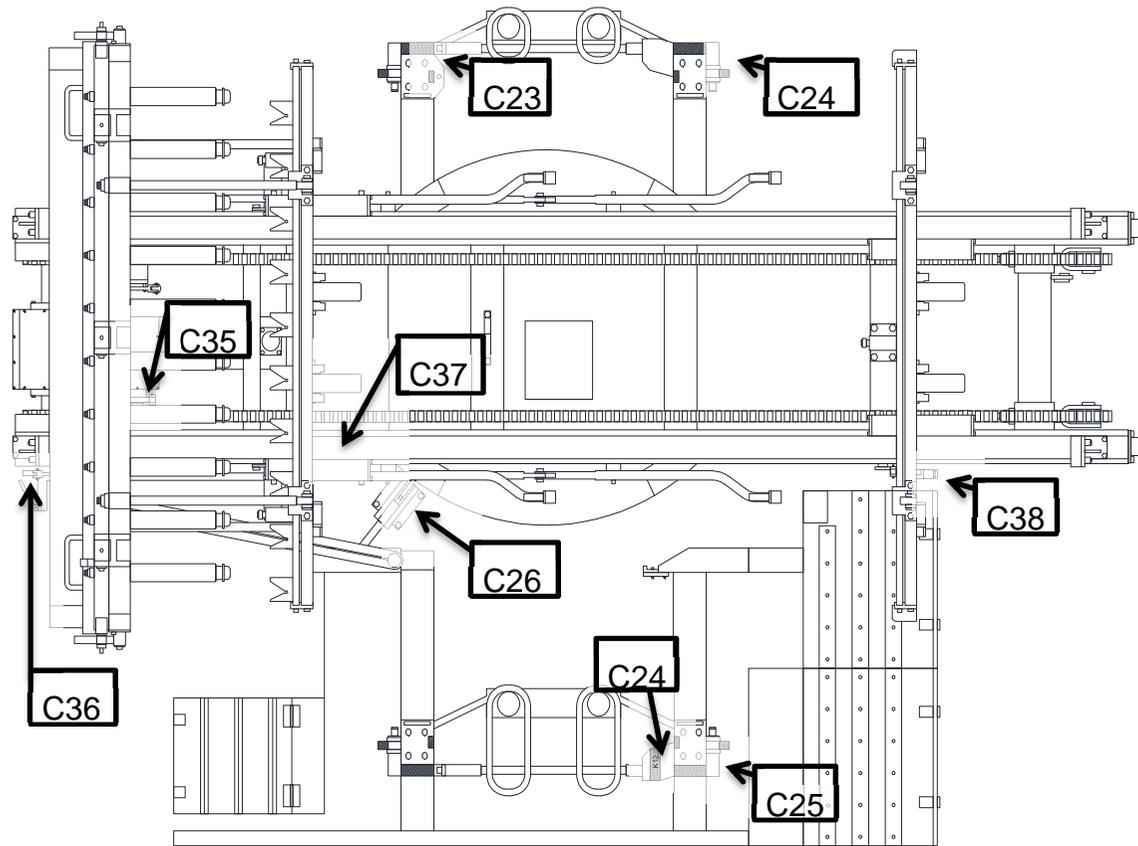


Figura 11-3. Ubicación de limitadores de posición en el sistema de recarga

11.4 Interfaz gráfica de recarga



Figura 11-4. Interfaz gráfica de recarga de cohetes del RM-70

11.5 Protección a las fuentes de alimentación

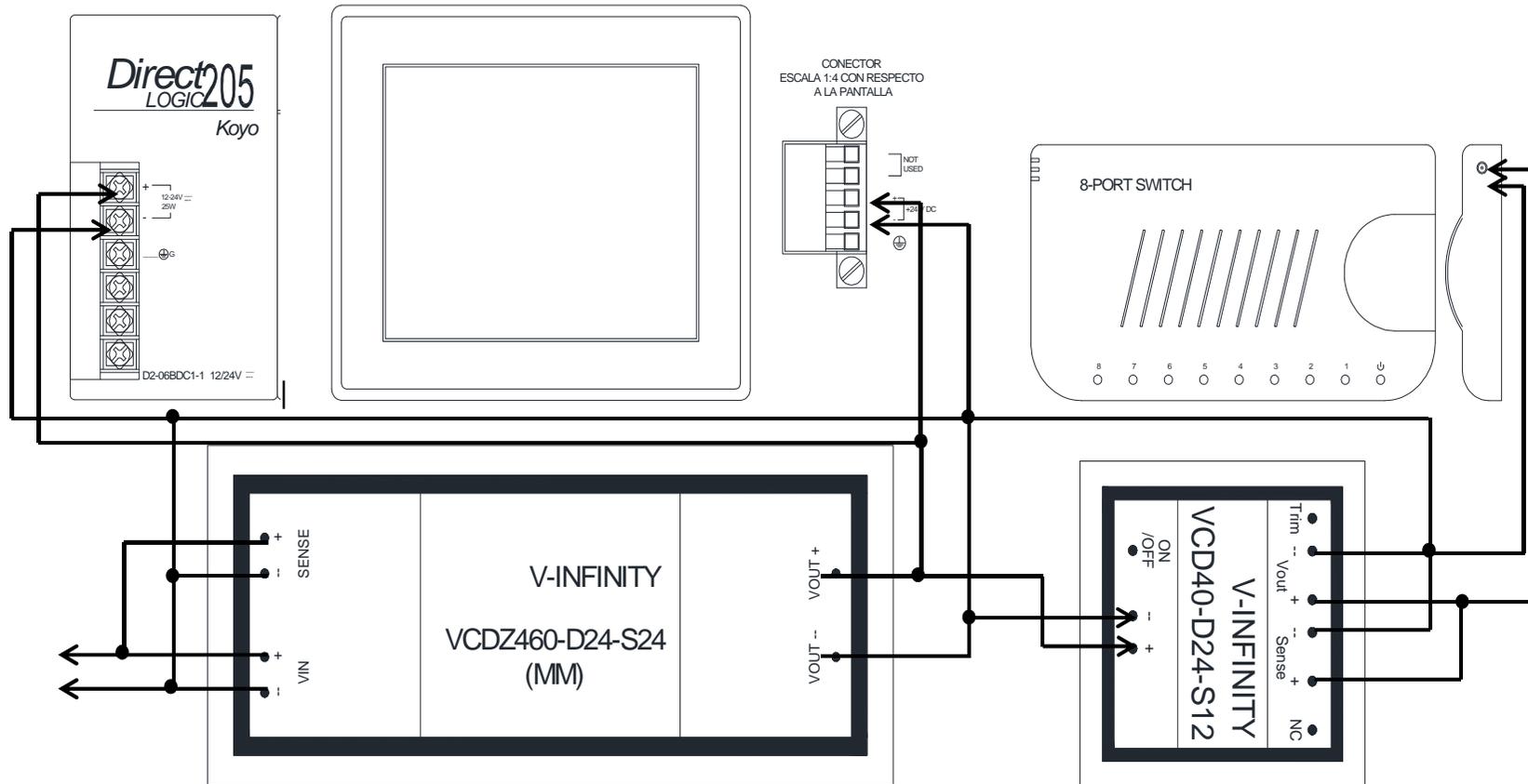


Figura 11-5. Protección: Fuente del PLC, pantalla y conmutador

ACTA DE ENTREGA

El proyecto fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, desde:

Sangolquí, 10 DE JUNIO de 2015

ELABORADO POR:



DARIO XAVIER AGUILAR NARVÁEZ

171651578-6

AUTORIDAD:



Ing. Luis Orozco MSc.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL