



Automatización fluvial

Isaac Pardey Rodríguez

Trabajo de grado para optar al título profesional:

Curso de Estado Mayor (CEM)

Escuela Superior de Guerra “General Rafael Reyes Prieto”

Bogotá D.C., Colombia

FUERZAS MILITARES DE COLOMBIA
ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA



CURSO DE ESTADO MAYOR 2002

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

"AUTOMATIZACIÓN FLUVIAL"

Desarrollo del software necesario para la corrección de paralaje en altura, dentro del proyecto de diseño y construcción de un montaje automático para ametralladora 0.50 para unidades fluviales.

Trabajo desarrollado por el señor
Capitán de Corbeta ISAAC PARDEY RODRÍGUEZ
Curso de Estado Mayor 2002

Bogotá, 22 de septiembre del año 2002

96
690.427
7226
Inu
56-3
UNIVERSIDAD MILITAR
DE YACANDIA 0.50 - UNIDADES
FLUVIALES
COLOMBIA - FUERZAS MILITARES

Todo el trabajo a continuación desarrollado fue realizado por el autor del presente proyecto, lo mismo que el proyecto previo al mismo; por tanto, él asume toda la responsabilidad de lo aquí expresado, lo cual, fue fruto de su genialidad.

Los conceptos matemáticos, trigonométricos, de
Dedico el presente trabajo a mi esposa Patricia y a mis hijos Ricardo y David, quienes lograron comprender la importancia del mismo tanto a nivel personal como institucional, facilitándome el tiempo necesario para la investigación desarrollada.

El proyecto total de automatización de una ametralladora 0.50 para disparo a control remoto en unidades fluviales todavía se encuentra incompleto, se está finalizando en el Departamento de Armas y Electrónica de la Base Naval ARC "Bolívar" en Carlemana. Básicamente hacen falta las pruebas finales de funcionamiento y desempeño, para poder empezar a producir en serie los sistemas requeridos para las unidades fluviales.

INDICE

No	TEMA	Pag.
	Lista de abreviaturas y conceptos técnicos	vi
	Introducción	vii
1	Título	
2	Justificación	Todo el trabajo a continuación desarrollado fue realizado por el autor del presente proyecto, lo mismo que el proyecto previo al mismo; por tanto, él asume toda la responsabilidad derivada de lo aquí expresado, lo cual, fue fruto de su genialidad.
2.1	Importancia	
2.2	Interés	
2.3	Utilidad	
2.4	Facilidad	
2.5	Marco Legal	
2.6	Aporte personal	
3	Planteamiento y	Los conceptos matemáticos, trigonométricos, de programación y de control automático usados son de uso común; más no, la conjugación de los mismos efectuada por el autor para producir los resultados finales del trabajo.
3.1	Planteamiento	
3.2	Formulación	
4	Objetivos de la investigación	
4.1	Objetivo general	El proyecto total de automatización de una ametralladora 0.50 para disparo a control remoto
4.2	Objetivos específicos	en unidades fluviales todavía se encuentra incompleto, se está finalizando en el
5	Identificación de	Departamento de Armas y Electrónica de la Base Naval ARC "Bolívar" en Cartagena. Básicamente
6	Solución del problema	hacen falta las pruebas finales de funcionamiento y desempeño, para poder empezar a producir en serie los sistemas requeridos para las unidades fluviales.
6.1	Ronza - costado	
6.2	Ronza - costado	
6.3	Elevación - ametralladora	
6.4	Elevación - ametralladora	
7	Desarrollo del algoritmo	
7.1	Algoritmo actual	28
7.2	Algoritmo final	30
8	Traducción del algoritmo lógico en lenguaje ONROM	37

INDICE

No	TEMA	Pag.
	Lista de abreviaturas y conceptos técnicos.	VI
	Introducción.	VII
1	Titulo.	1
2	Justificación.	1
2.1	Importancia.	2
2.2	Interés.	2
2.3	Utilidad.	2
2.4	Factibilidad.	3
2.5	Marco Legal	3
2.6	Aporte personal.	4
3	Planteamiento y formulación del problema.	5
3.1	Planteamiento.	5
3.2	Formulación.	9
4	Objetivos de la investigación.	9
4.1.	Objetivo general.	9
4.2	Objetivos específicos.	10
5	Identificación de las variables de entrada y salida.	11
6	Solución del problema trigonométrico y matemático	13
6.1	Ronza - costado de babor	13
6.2	Ronza - costado de estribor	18
6.3	Elevación – ametralladora encima del operador	23
6.4	Elevación – ametralladora debajo del operador	25
7	Desarrollo del algoritmo lógico o flujograma	28
7.1	Algoritmo actual	28
7.2	Algoritmo final	30
8	Traducción del algoritmo lógico en lenguaje ONROM	37

LISTA DE ABREVIATURAS Y CONCEPTOS TÉCNICOS

9	Análisis de compatibilidad del programa	57
10	Determinación del hardware necesario para la implementación del sistema.	59
10.1	Señales que actualmente maneja el sistema.	60
10.2	Hardware actual del proyecto.	62
11	Conclusiones.	65
12	Recomendaciones.	67
13	Bibliografía.	68
14	Gastos finales ejecutados.	69

4. ELEVACION. Es el ángulo que tiene un objeto sobre la cubierta de una unidad naval con respecto a la paralela de la superficie del agua, cuando se mueve sobre su eje central de arriba abajo o viceversa. Ver ángulo θ y β en la página 23, "Corrección de elevación".

5. CPU. Central Processing Unit, o Unidad de procesamiento central, es el cerebro de todo sistema de control, para este caso el cerebro del computador. Ver página 64, "Hardware actual".

6. KNOW HOW. Es conocimiento, es todo lo que se dedica y aprende cuando se investiga y se hacen los propios desarrollos tecnológicos. Es el alma del futuro, ya que la humanidad pasó primero la época en que los cobrantes de la agricultura daban el poder a la sociedad, luego fue el desarrollo industrial. Hoy por hoy, el conocimiento que es resultado de investigación y tecnología es el que diferencia a naciones desarrolladas de las no desarrolladas (o en vías de desarrollo), en pocas palabras de las sociedades ricas de las pobres.

LISTA DE ABREVIATURAS Y CONCEPTOS TÉCNICOS

1. PLC: Programmable Logic Computer. O computador lógico programable. Ver página 62, "Hardware actual del proyecto".
2. OFFSET: Es Desapuntamiento, ver página 57 "Análisis de compatibilidad del programa".
3. RONZA: Es el ángulo que tiene un objeto sobre la cubierta de una unidad naval con respecto a la proa de la unidad, cuando se mueve sobre su eje central perpendicular al agua. Ver ángulo α y α' en la figura de la página 9.
4. ELEVACIÓN: Es el ángulo que tiene un objeto sobre la cubierta de una unidad naval con respecto a la paralela de la superficie del agua, cuando se mueve sobre su eje central de arriba abajo o viceversa. Ver ángulo β y β' en la página 23, "Corrección de elevación".
5. CPU: Central Processing Unid, o Unidad de procesamiento central, es el cerebro de todo sistema de control, para este caso el cerebro del computador. Ver página 64, "Hardware actual".
6. KNOW HOW: Es conocimiento, es todo lo que se deduce y aprende cuando se investiga y se hacen los propios desarrollos tecnológicos. Es el arma del futuro, ya que la humanidad pasó primero la época en que los sobrantes de la agricultura daban el poder a la sociedad, luego fue el desarrollo industrial. Hoy por hoy, el conocimiento que es sinónimo de investigación y tecnología es el que diferencia a naciones desarrolladas de las no desarrolladas (o en vías de desarrollo), en pocas palabras de las sociedades ricas de las pobres.

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UN MONTAJE SENCILLO DE AMETRALLADORA 0.50 PARA SER DISPARADO A CONTROL REMOTO

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es un sub-proyecto de uno macro llamado "Automatización de un montaje sencillo de ametralladora 0.50 para ser disparado a control remoto", desarrollado en su totalidad por el autor de esta tesis.

El proyecto se encuentra radicado en la actualidad en el Departamento de Armas y Electrónica de la Base Naval "ARC "Bolívar" en Cartagena, en donde a partir de esta fase, la Jefatura del Departamento consideró conveniente continuar una de las posibles ramificaciones del proyecto macro, la de dejar a un lado el computador que corrige paralaje, y montar sobre el montaje de la ametralladora una cámara de video con especificaciones militares: de gran zoom, alcance, discriminación, ancho de imagen y visión de rayos infrarrojos, para instalar sobre el montaje del operador la respectiva pantalla, para que el operador por medio de un Joystick posiciones la ametralladora antes del disparo. Se dejó igual todo lo que son las alarmas, sensores, mecanismo de disparo, rutinas de retroalimentación y de posición de los motores de la ametralladora.

El autor del presente trabajo consideró conveniente continuar con el desarrollo inicial porque consideró beneficioso para la Armada Nacional el balance Costo – Beneficio del proyecto original, ya que los resultados ya demostrados y el performance del equipo son aceptables para las necesidades institucionales, mientras que los costos son de aproximadamente una décima parte de los de la otra ramificación, acorde con la situación económica del país y la realidad del presupuesto que las Fuerzas Militares pueden destinar a estos desarrollos.

Además, continuando por el camino del presente desarrollo, la próxima etapa será sin mayores cambios, el desarrollo de sistemas automáticos a control remoto para disparo de armas de este tipo para bases militares o policiales terrestres y desde aeronaves de ala fija o rotatoria, que como se observa son necesidades actuales.

Cual de los dos caminos será el mejor?, no se sabe, ni se pueden elaborar conjeturas, el tiempo lo dirá. Pero, por el momento el desarrollo ejecutado en el presente proyecto es de gran necesidad para las unidades fluviales de la Armada Nacional, se ejecutó con éxito, siendo un gran paso para las Fuerzas Militares en lo que a desarrollo de tecnología propia se refiere.

PROYECTO DE INVESTIGACION

1. TITULO.

“AUTOMATIZACIÓN FLUVIAL”

Desarrollo del software necesario para la corrección de paralaje en altura, dentro del proyecto de diseño y construcción de un montaje automático para ametralladora 0.50 para unidades fluviales.

2. JUSTIFICACIÓN

Como se explicará posteriormente en el planteamiento del problema (capítulo 3), la Armada Nacional esta realizando un desarrollo tecnológico propio, con el fin de solucionar un problema actual, debido a la situación de orden público vivida actualmente en el país; el cual es diseñar y construir un montaje automático para una ametralladora 0.50, la cual puede ser disparada a control remoto desde dentro de las unidades fluviales, detrás de un vidrio blindado, con el fin de proteger la integridad física de los tripulantes, obtener mayor efectividad en el disparo y economizar munición.

Por tratarse de la integridad física de los integrantes de la Institución, el proyecto es de gran interés dentro de la misma, y dependiendo de los resultados, puede en un futuro trasladarse en fases o desarrollos posteriores a otras armas de las Fuerzas Militares.

Es la primera vez que se está desarrollando un proyecto de estas características en las Fuerzas Militares, con lo cual se adquiere un conocimiento muy útil y valioso, siendo original y de gran utilidad dada la intensidad del conflicto colombiano, no solo en esta fase de su desarrollo sino en futuras aplicaciones.

El proyecto propuesto en el presente anteproyecto tiene buena factibilidad de desarrollo, teniendo como base los desarrollos anteriores, que ya fueron probados y están funcionando en los laboratorios del Departamento de Armas y Electrónica de la Base Naval ARC "Bolívar" en la ciudad de Cartagena.

2.1 IMPORTANCIA.

La importancia del proyecto es práctica ya que el resultado de la Investigación tiene una aplicación concreta dentro de la Institución como se demostrará mas adelante, se trata de la integridad física de los tripulantes y la adquisición de un conocimiento muy valioso y funcional en próximas aplicaciones.

2.2 INTERÉS.

El desarrollo de este proyecto es un complemento muy importante de otro más grande, que como se dijo anteriormente es muy importante para la Armada Nacional, sus integrantes, y con futuras aplicaciones derivadas de ella para las otras Fuerzas Institucionales, como la Fuerza Aérea, para el disparo de las armas a control remoto por parte de los pilotos de las aeronaves; y en el Ejército y Policía Nacional, para el disparo a control remoto, con sistemas de control mas elaborados, de armas de gran calibre en la defensa de Instalaciones terrestres militares y policiales.

2.3 UTILIDAD.

La propuesta es muy útil, ya que beneficia principalmente al personal, porque defiende su integridad física; a los comandantes, porque evita bajas en la moral de sus tropas al evitar muertes y heridos; y a la

economía de la Nación, porque evita costos por concepto de gastos médicos, funerarios, indemnizaciones y de transporte (más adelante se darán cifras concretas al respecto).

2.4. FACTIBILIDAD.

Como se dijo anteriormente las posibilidades de realización de la investigación son muy altas, porque es la tercera fase de un proyecto macro que ya se ha probado y se encuentra funcionando en laboratorios, con desarrollos en algo parecidos al presente. Además, se utilizará una tecnología comercial y de gran trayectoria en la industria privada y pública del país.

2.5. MARCO LEGAL.

La Armada Nacional promulgó en el año de 1997 el “Plan Estratégico de Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología 1998 – 2006”, en el cual se dieron las estrategias básicas a seguir para impulsar el desarrollo tecnológico de la Institución, las maneras de desarrollar proyectos y la manera de conseguir los recursos.

Dentro de este Plan, se establecieron las Áreas de Investigación, dentro de las cuales se estableció el área de “Ingeniería y Tecnología”, la cual se subdividió en 8 programas. El autor del presente anteproyecto se acogió al programa “Control Automático de Sistemas y Procesos”, el cual se definió como: “A través del desarrollo de investigaciones y estudios técnicos en diferentes disciplinas del conocimiento, lograr el diseño, rediseño, recuperación o actualización de tecnologías de sistemas de control automático para sistemas y procesos necesarios en las diferentes unidades de la Armada Nacional, con el fin de reducir o eliminar la

Plan Estratégico de Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología 1998 – 2006.
Armada Nacional. Página 25

dependencia de tecnología extranjera.”¹; razón por la cual se ha contado con el apoyo tanto político como económico para iniciar y continuar con el proyecto.

Aunque el primer prototipo realizado funcionó, tuvo problemas mecánicos, motivo por el cual la Armada Nacional comisionó, en el año 1999, al Departamento técnico de la Base Naval ARC “Bolívar” (ahora llamado COOTECMAR), para diseñar y construir los montajes mecánicos para el segundo prototipo, mientras que en la parte electrónica se adquiriría un PLC más potente con el fin de darle nuevas posibilidades al sistema, como son: Medir la distancia al blanco (ya realizado con un medidor láser acoplado al sistema), conectar una pantalla de intercomunicación con el usuario para darle mas alarmas en caso de falla, darle la posibilidad de contar los proyectiles disparados y hacer un troubleshooting en caso de fallas menores (ya realizado), poder introducir la corrección por paralaje en elevación (este trabajo), y mas adelante para manejar varias armas al tiempo con un mismo montaje del operador.

Como el autor tuvo que trasladarse a esta ciudad para realizar el curso de Estado Mayor, el proyecto quedo en manos del Departamento de armas y electrónica de la Base Naval ARC “Bolívar”, donde se han venido coordinando las adecuaciones mecánicas a la parte electrónica, con el fin de efectuar una buena integración, están esperando este programa (el presente proyecto), con el fin de hacer los acoples del caso y a fin de año tener el sistema funcionando.

2.6 APOORTE PERSONAL.

¹ Plan Estratégico de Investigación y Desarrollo en Ciencia y tecnología 1998 – 2006. Armada Nacional. Página 25.

Es muy grande, ya que confirmará y ampliará los conocimientos tanto en programación como de desarrollo tecnológico de sistemas de control. Y lo más importante, elevará la autoestima al desarrollar un sistema que funciona, salva vidas y es de gran estimación dentro de los integrantes de la Armada Nacional, sirviendo a la Patria que se juro defender.

3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA:

3.1. PLANTEAMIENTO.

El Gobierno Nacional le entregó a la Brigada Fluvial de la Infantería de Marina de la Armada Nacional la jurisdicción de los 15.774 kilómetros de ríos del país, de los cuales hay 12.660 kilómetros navegables, aunque en la actualidad sólo se tiene proyectada una cobertura de 8.020 kilómetros². Como es lógico, los patrullajes se efectúan con mayor intensidad en los lugares donde hay una significativa alteración del orden público debido a la presencia de agentes generadores de violencia.

Las unidades fluviales mayores por lo general son emboscadas por estos agentes en lugares ventajosos para ellos como despeñaderos y barrancos con alturas superiores a la de los buques, que obligan a los tripulantes a defenderse primordialmente con gran poder de fuego, más que con maniobras evasivas por su restringida maniobrabilidad y velocidad. Para poder disparar las armas los tripulantes tienen que manipularlas desde el propio montaje, el cual está emplazado fuera de las áreas blindadas, exponiendo partes de su cuerpo; como son la cara, brazos y los costados del abdomen; convirtiéndose así en una debilidad para la Unidad.

² Cartilla de Operaciones Navales Irregulares. Escuela Superior de Guerra. Página 23.

El enemigo sabe aprovechar esta debilidad y la convierte en vulnerabilidad concentrando gran parte o todo su poder de fuego sobre los operadores de las armas, llegando en determinados casos a herirlos y hasta matarlos. En los últimos 2 años (2000 y 2001) se han presentado 9 muertos y 27 heridos³ en combates fluviales, cuyos costos económicos causados se estiman así:

1. Indemnizaciones a las familias (se estimó en \$ 78.545.324 pesos para este personal)⁴.
2. Atención a los heridos: gastos hospitalarios, medicamentos, prótesis, etc. (en el último año los costos fueron cuantificados en mas de \$ 45.987.492 pesos)⁵.
3. Gastos de transporte, los cuales no se pudieron cuantificar porque no se cuenta con las estadísticas necesarias. A manera de referencia se tiene calculado que el costo de una hora de helicóptero Bell 212 es de USD 1.673. Sacar de la zona de combate y transportar un herido por lo general puede tomar una o dos horas de tiempo, y a veces se utilizan dos helicópteros, el de transporte y el de seguridad.

Más importante aún que los costos económicos son los costos morales para la tripulación de la unidad atacada, pues el herido o muerto merma la moral de los compañeros durante y después del combate.

³ Informe de Accidentalidad y Mortalidad de la Dirección de Sanidad ARC para los años 2000 y 2001.

⁴ Costos computados de acuerdo con lo ordenado en el decreto 1790 del 2000, Estatuto de la Carrera para Oficiales y suboficiales y el decreto 1799 del 2000, Estatuto de la Carrera del Soldado profesional.

⁵ Informe de Accidentalidad y Mortalidad de la Dirección de Sanidad ARC para los años 2000 y 2001.

También es conveniente sumar a los costos económicos la baja eficiencia en los disparos efectuados, porque el nerviosismo producido por esta vulnerabilidad hace que los operadores desperdicien munición disparando sin apuntar o a blancos ficticios, se tiene estimado que en el primer minuto del combate, por lo general el operador de la ametralladora dispara la canana completa de 100 proyectiles.

El montaje del operador se así

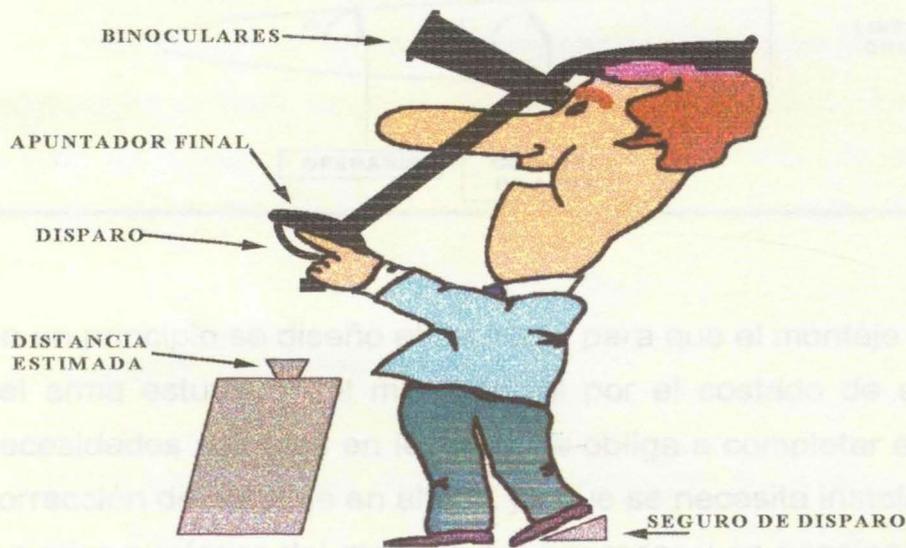
La solución dada por el momento al problema fue colocar en el montaje, a los costados del operador del arma, unas placas de acero naval de media pulgada de espesor que algo protegen, pero no dan total seguridad y tapan parcialmente su visibilidad.

Para minimizar esta vulnerabilidad se desarrolló el proyecto de automatización de un montaje sencillo de una ametralladora 0.50, que hizo posible el disparo a control remoto de esta arma, con un montaje para un operador con visores nocturnos, detrás de un vidrio blindado, brindando los siguientes resultados:

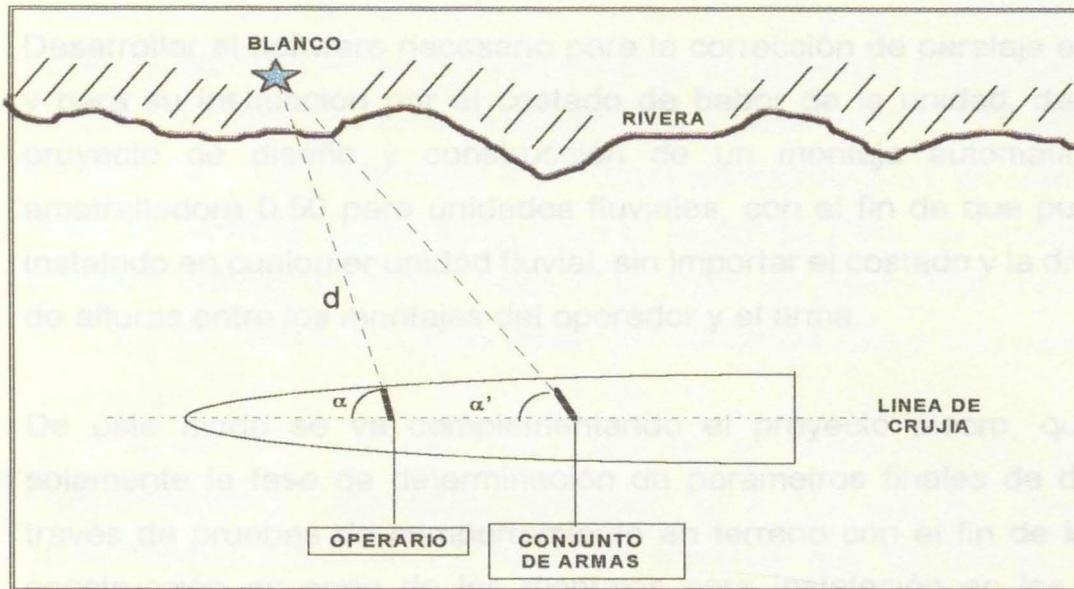
- Minimizar el número de heridos y muertos.
- Dar más seguridad y concentración a los tripulantes ya que el operario apunta desde un par de miras ópticas detrás de un vidrio blindado, de este modo él sabe que no será herido o muerto por el fuego enemigo.
- El vidrio blindado, la seguridad que este brinda, y unos buenos binoculares hacen que el operario pueda apuntar mejor, evitando desperdicio de munición por falta de concentración, falta de puntería o por disparos sin ningún sentido hechos hacia donde se cree vienen los proyectiles del enemigo.
- En un futuro se piensa instalar dos (02) montajes dobles de ametralladora 0.50 en los remolcadores del río Magdalena

(separados por uno o dos planchones), de modo que donde el operario de la mira apunte, ambos montajes apunten y disparen. Con este desarrollo se dio el primer paso para el desarrollo del sistema de armas colombiano que reemplazaría en unos años más el Sistema Vega II de las Fragatas Misileras.

El montaje del operador es así:



Observando la unidad fluvial desde arriba, el sistema completo se ve así:



En un principio se diseñó el proyecto para que el montaje del operador y el del arma estuvieran al mismo nivel por el costado de estribor, pero las necesidades actuales en los buques obliga a completar el proyecto con la corrección de paralaje en altura, ya que se necesita instalar el arma a nivel superior o inferior del montaje del operador y en ocasiones por el costado de babor de la unidad fluvial.

3.2. FORMULACION

¿Cuál es el software requerido para efectuar la corrección de "OFF SET" en elevación y por el costado de babor del montaje sencillo de ametralladora 0.50 para ser manejado a control remoto, con el fin pueda ser emplazado en cualquier unidad fluvial?

4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. OBJETIVO GENERAL:

Desarrollar el software necesario para la corrección de paralaje en altura y para su instalación por el costado de babor de la unidad, dentro del proyecto de diseño y construcción de un montaje automático para ametralladora 0.50 para unidades fluviales, con el fin de que pueda ser instalado en cualquier unidad fluvial, sin importar el costado y la diferencia de alturas entre los montajes del operador y el arma.

De este modo se va complementando el proyecto macro, quedando solamente la fase de determinación de parámetros finales de diseño a través de pruebas de comportamiento en terreno con el fin de iniciar la construcción en serie de los montajes para instalación en los buques fluviales.

4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 4.2.1. Determinar las variables que influyen en la resolución de tiro.
- 4.2.2. Resolver el problema matemático y trigonométrico de tiro.
- 4.2.3. Elaborar el flujo grama general de programación.
- 4.2.4. Programar en lenguaje OMRON del flujo grama.
- 4.2.5. Acoplar el programa elaborado con el programa general de disparo de la CPU del proyecto. Evitar dualidad de funciones, variables, interferencias y ciclos sin fin del programa general.
- 4.2.6. Probar el sistema completo.
- 4.2.7. Determinar el Hardware necesario para la implementación del sistema: Interfase de entradas, sensores y cableado.

5. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA.

Para gran precisión de un arma que esta siendo disparada a control remoto, se necesita corregir los dos ángulos de disparo: Uno: Con

referencia a la línea de crujía (o línea media del buque), en este caso se habla de paralaje en ronza, este paralaje ya lo realiza el proyecto actual, siempre y cuando ambos montajes estén colocados por el costado de estribor. Dos: Con referencia a la horizontalidad del piso, en este caso se habla de paralaje en elevación, este es lo que se pretende realizar con el presente trabajo; así como, también se pretende desarrollar la corrección para cuando ambos montajes estén colocados por el costado de babor.

Observando las gráficas del capítulo 6, "Solución del problema trigonométrico y matemático" (páginas 13 a 27), con sus respectivas modelaciones matemáticas, se puede observar que las únicas variables que se utilizan en el sistema son:

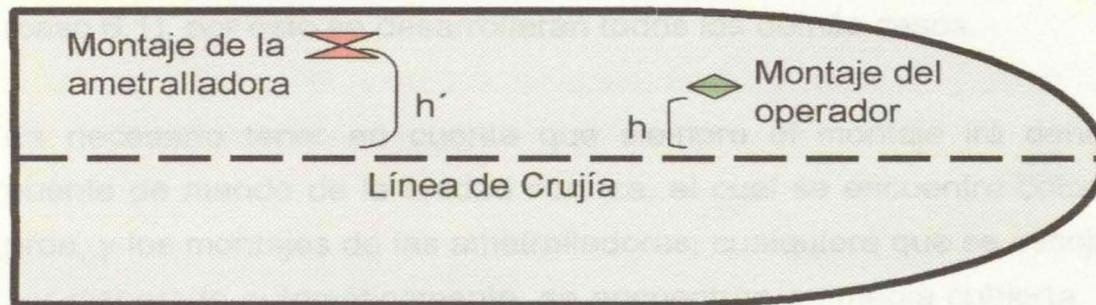
- α : Ángulo de ronza del operador.
- α' : Ángulo de ronza de la ametralladora.
- c : Distancia de separación horizontal entre ambos montajes.
- d : Distancia del montaje del operador al blanco.
- β : Ángulo de elevación del operador.
- β' : Ángulo de elevación de la ametralladora.
- y : Distancia de separación vertical entre ambos montajes.

Como se observa el ángulo del operador α es diferente del ángulo que debe tomar el montaje del arma α' para dar en el blanco, esta diferencia es calculada por el procesador del sistema sobre la base de dos variables principalmente: La distancia "d" al blanco y la distancia entre montajes "c".

Así mismo, el ángulo del operador β es diferente del ángulo que debe tomar el montaje del arma β' para dar en el blanco. El procesador también calcula la diferencia sobre la base de dos variables principalmente: La distancia "d" al blanco y la distancia entre montajes "y".

Todas las distancias son medidas en metros y los ángulos en grados.

Es importante anotar que para los siguientes cálculos, se despreciarán las diferencias en distancias que tienen los montajes con respecto a la línea de crujía de la unidad fluvial, analizando el siguiente dibujo se deduce que para el proyecto la distancia h es igual a la distancia h' .



Como se puede observar a lo largo de todo el trabajo, no interviene en el programa ninguna otra variable, aunque se podría pensar en otras que intervienen en la vida real, pero que por ahora se despreciarán debido a la imposibilidad de adquisición de sensores para medirlas (aunque el PLC tiene la capacidad de procesarlas), como de simplificación del sistema, pero que de todas maneras sirven para desarrollos futuros del proyecto, como son:

- La incidencia del vector viento.
- Las condiciones atmosféricas.
- La incidencia de la estabilización de la plataforma, en este caso los movimientos de rolido y cabeceo de la unidad fluvial.
- El estado de la pólvora de la munición: Temperatura, antigüedad, tipo y lote de fabricación.
- El ánima del arma y el número de disparos efectuados.
- El desgaste del sistema de posicionamiento tanto del operador como de del arma: Fiabilidad de los sensores, desgaste de piñones, resistencia eléctrica del cableado, etc.
- Condiciones de visibilidad del blanco.
- Otras.

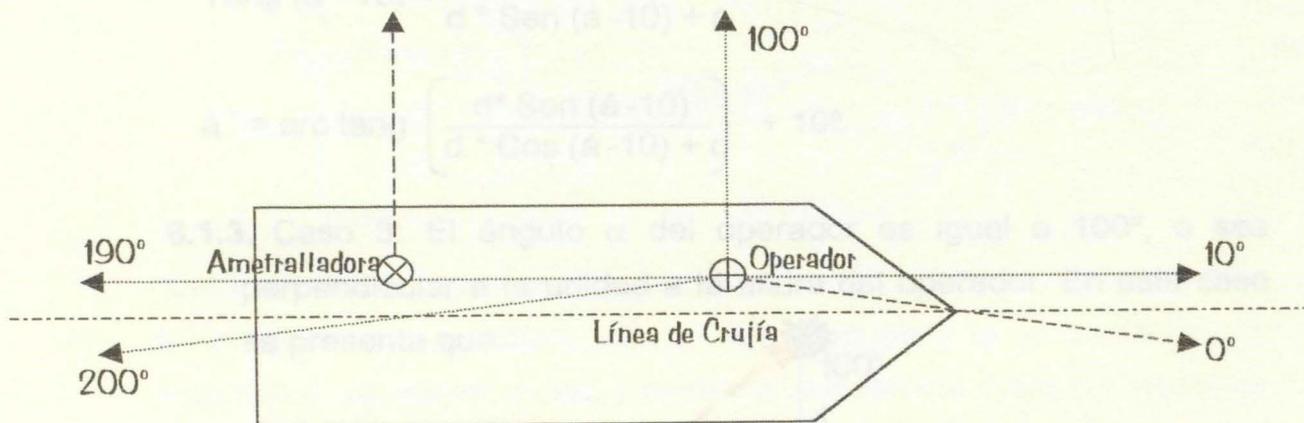
6. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA TRIGONOMÉTRICO Y MATEMÁTICO.

El proyecto original solo tiene la solución trigonométrica para cuando ambos montajes se encuentran por el costado de babor de la unidad, y el montaje del operador se encuentra a proa y el de la ametralladora a popa (caso 6.1), por esto se desarrollarán todos los demás casos.

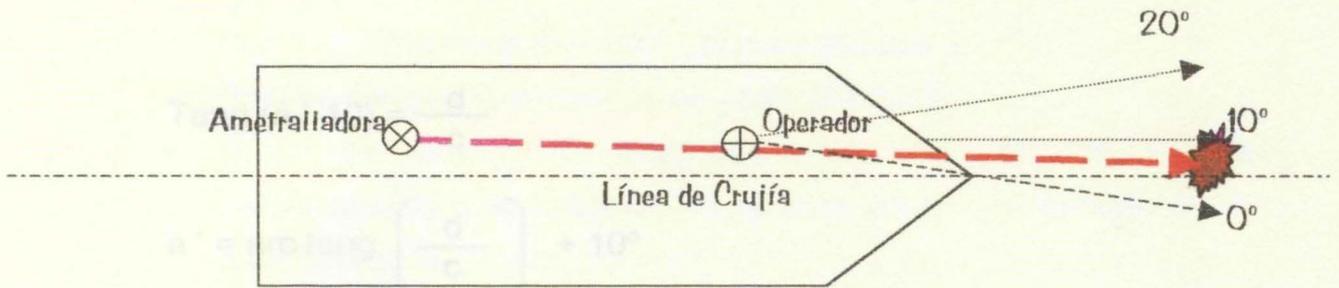
Es necesario tener en cuenta que siempre el montaje irá dentro del puente de mando de la unidad nodriza, el cual se encuentra colocado a proa, y los montajes de las ametralladoras, cualquiera que se escoja para ser disparada automáticamente, se encuentran en media cubierta, más a popa que el puente.

6.1. RONZA - COSTADO DE BABOR.

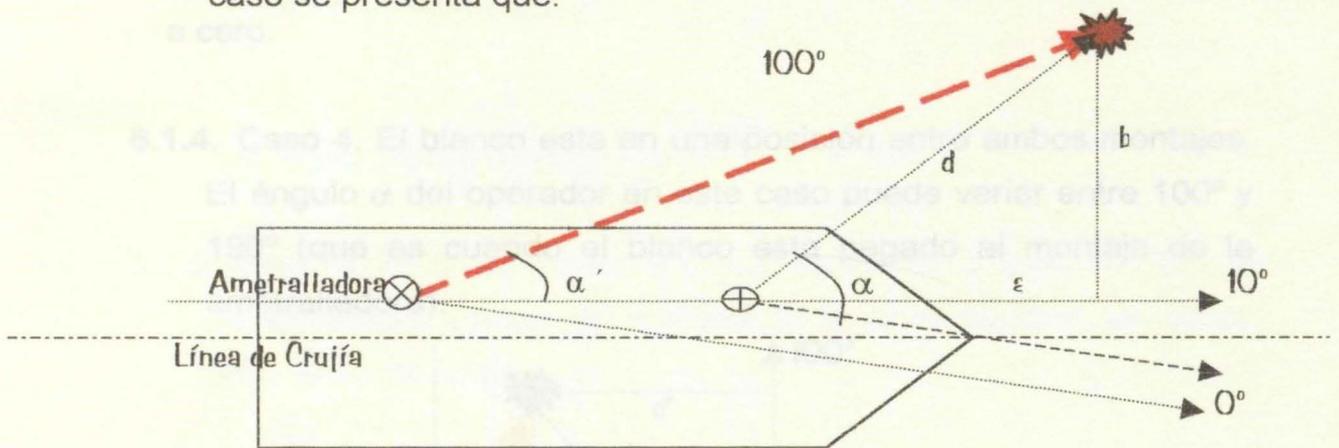
En este caso la base del operador se encuentra colocada a la derecha de la base de la base de la ametralladora, así:



6.1.1. Caso 1: El ángulo α del operador está entre 0° y 20° : En este caso no hay autorización de disparo ya que se presentaría el caso de autodestrucción.



6.1.2. Caso 2: El ángulo α del operador esta entre 20° y 99.9° : En este caso se presenta que:

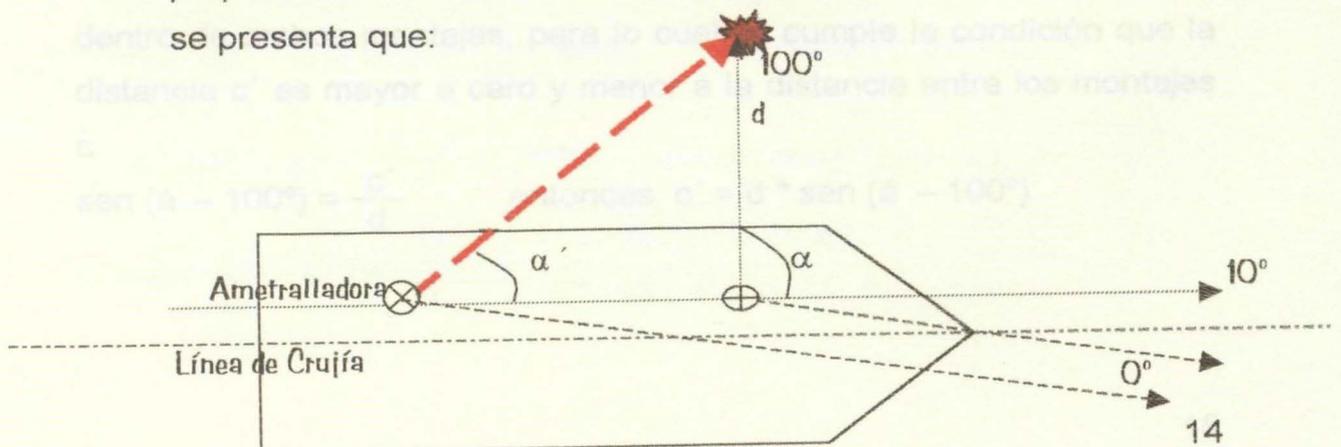


$$a = d * \text{Cos}(\alpha - 10) \quad b = d * \text{Sen}(\alpha - 10)$$

$$\text{Tang}(\alpha' - 10) = \frac{d * \text{Sen}(\alpha - 10)}{d * \text{Cos}(\alpha - 10) + c}$$

$$\alpha' = \text{arc tang} \left(\frac{d * \text{Sen}(\alpha - 10)}{d * \text{Cos}(\alpha - 10) + c} \right) + 10^\circ$$

6.1.3. Caso 3: El ángulo α del operador es igual a 100° , o sea perpendicular a la unidad a la altura del operador. En este caso se presenta que:

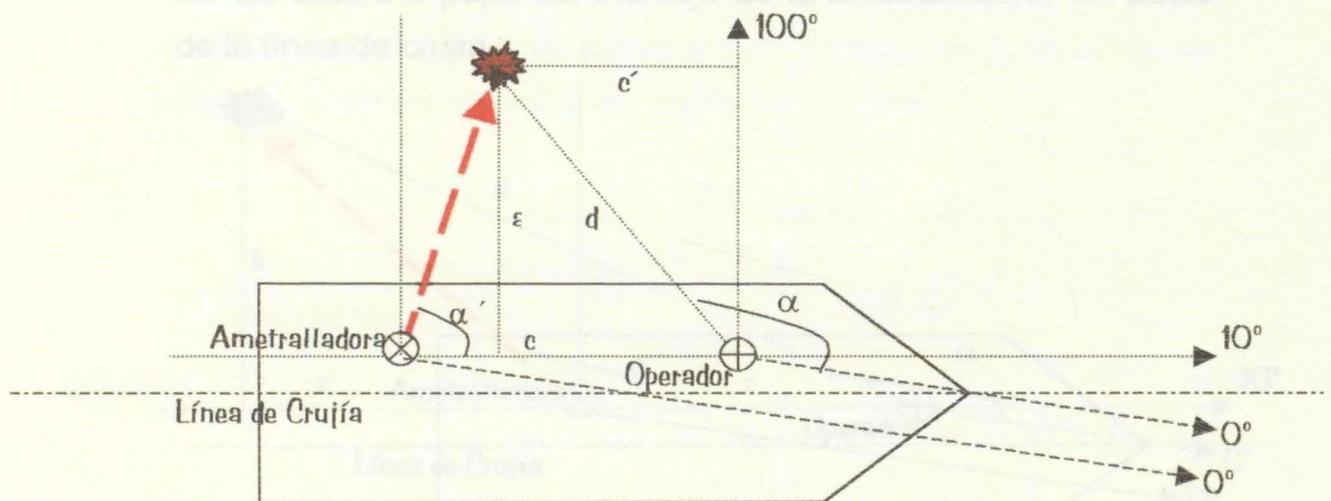


$$\text{Tang}(\acute{\alpha}' - 10^\circ) = \frac{d}{c}$$

$$\acute{\alpha}' = \text{arc tang} \left(\frac{d}{c} \right) + 10^\circ$$

Se observa que es el mismo caso anterior ya que si el ángulo es 100° , menos 10° son 90° , su seno es igual a 1 y su coseno es igual a cero.

6.1.4. Caso 4: El blanco esta en una posición entre ambos montajes. El ángulo α del operador en este caso puede variar entre 100° y 190° (que es cuando el blanco esta pegado al montaje de la ametralladora).



Primero que todo hay que comprobar que efectivamente el blanco este dentro de ambos montajes, para lo cual se cumple la condición que la distancia c' es mayor a cero y menor a la distancia entre los montajes c .

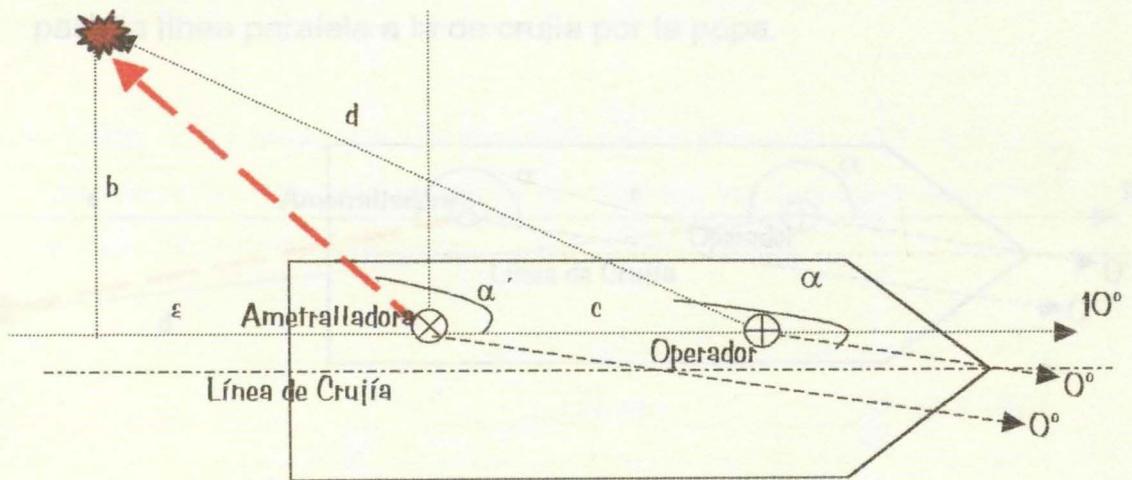
$$\text{sen}(\acute{\alpha} - 100^\circ) = \frac{c'}{d} \quad \text{entonces, } c' = d * \text{sen}(\acute{\alpha} - 100^\circ)$$

- Si $c' = 0$ Entonces $\acute{\alpha} = 100^\circ$, que es el caso 3.
- Si c' es mayor a c , entonces se pasa al caso 5.
- Si c' es igual a c , entonces $\acute{\alpha}' = 100^\circ$, el blanco esta perpendicular a la línea de crujía a la altura del montaje de la ametralladora.
- Si c' es menor a c , entonces $a = d * \cos (\acute{\alpha} - 100^\circ)$

$$\text{Tang} (\acute{\alpha} - 10^\circ) = \frac{a}{c - c'} \implies (\acute{\alpha}' - 10^\circ) = \text{arc Tang} \left(\frac{d * \cos (\acute{\alpha} - 100^\circ)}{c - c'} \right)$$

$$\acute{\alpha}' = \text{arc Tang} \left(\frac{d * \cos (\acute{\alpha} - 100^\circ)}{c - c'} \right) + 10^\circ$$

6.1.5. Caso 5. Si c' es mayor a c y $\acute{\alpha}$ es menor o igual a 190° , el blanco estará a popa del montaje de la ametralladora, sin pasar de la línea de crujía.



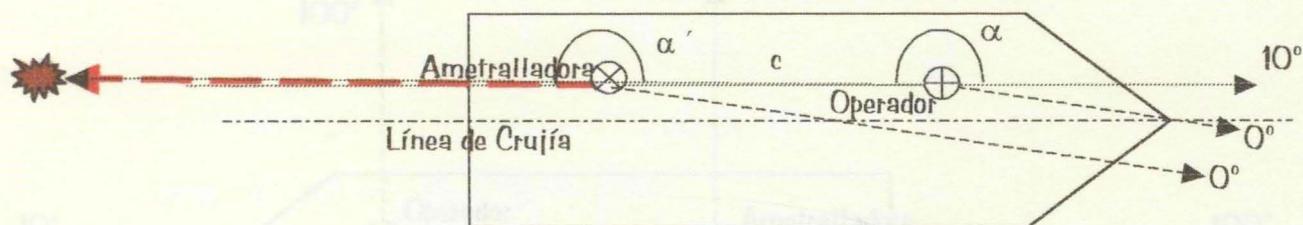
$$\text{sen} (180^\circ - (\acute{\alpha} - 10^\circ)) = \frac{b}{d} \implies b = d * \text{sen} (190^\circ - \acute{\alpha})$$

$$\text{cos} (190^\circ - \acute{\alpha}) = \frac{a + c}{d} \implies a = d * \text{cos} (190^\circ - \acute{\alpha}) - c$$

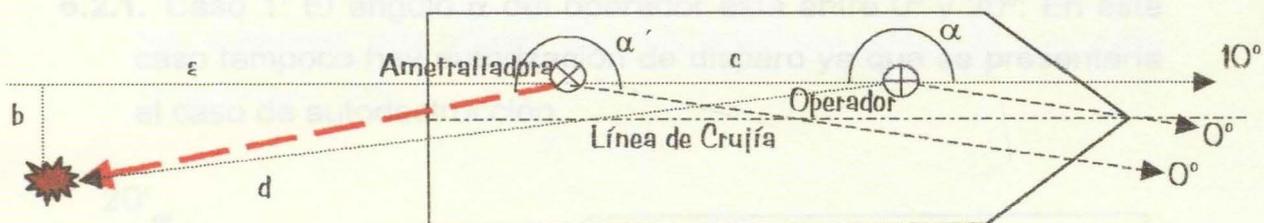
$$\text{Tang} (190^\circ - \acute{\alpha}') = \frac{b}{a} = \left(\frac{d * \text{sen} (190^\circ - \acute{\alpha})}{d * \text{cos} (190^\circ - \acute{\alpha}) - c} \right)$$

$$\alpha' = 190^\circ - \text{arc Tang} \left(\frac{d * \text{sen} (190^\circ - \alpha)}{d * \text{cos} (190^\circ - \alpha) - c} \right)$$

6.1.6. Caso 6. El ángulo α es igual a 190° , entonces el ángulo α' será también igual a 190° , ya que el blanco se encuentra sobre la línea de apuntamiento de la ametralladora, paralela a la línea de crujía. Se observa también que cumple con la regla del caso cinco, ya que el seno de 0° es cero y la arco tangente de cero es 0° .



6.1.7. Caso 7. El ángulo α es mayor a 190° y menor de 200° , el blanco pasa la línea paralela a la de crujía por la popa.



$$\text{sen} (\alpha - 190^\circ) = \frac{b}{d} \Rightarrow b = d * \text{sen} (\alpha - 190^\circ)$$

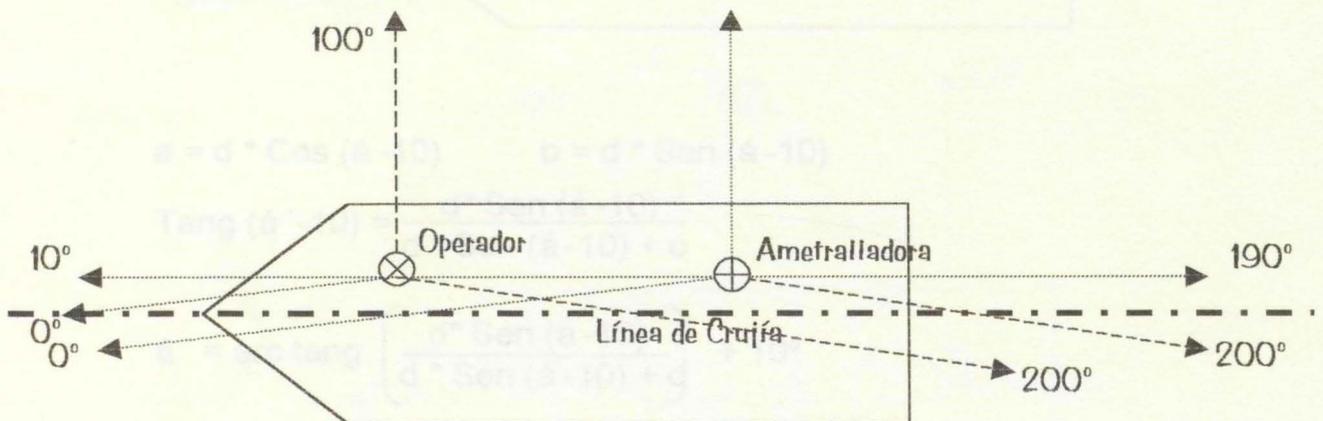
$$\text{cos} (\alpha - 190^\circ) = \frac{a + c}{d} \Rightarrow a = d * \text{cos} (\alpha - 190^\circ) - c$$

$$\text{Tang} (\alpha' - 190^\circ) = \frac{b}{a} = \left(\frac{d * \text{sen} (\alpha - 190^\circ)}{d * \text{cos} (\alpha - 190^\circ) - c} \right)$$

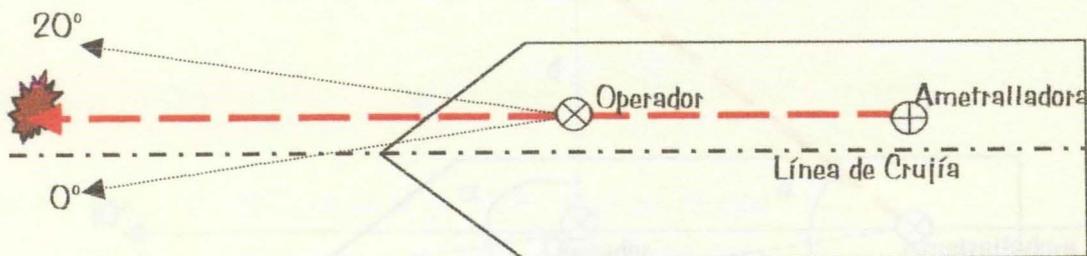
$$\alpha' = 190^\circ + \text{arc Tang} \left(\frac{d \cdot \sin(\alpha - 190^\circ)}{d \cdot \cos(\alpha - 190^\circ) - c} \right)$$

6.2. RONZA - COSTADO DE ESTRIBOR.

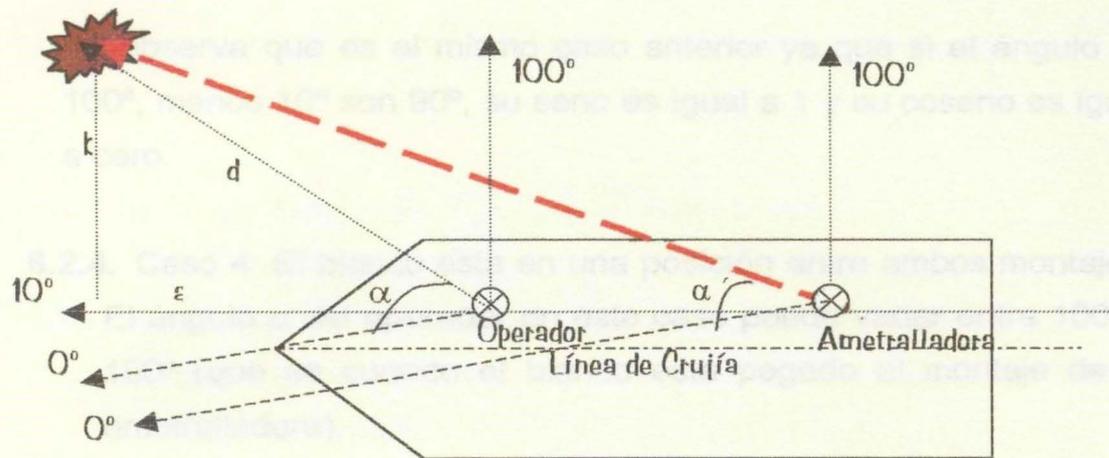
En este caso la base del operador se encuentra colocada a la izquierda de la base de la base de la ametralladora, así:



6.2.1. Caso 1: El ángulo α del operador está entre 0° y 20° : En este caso tampoco hay autorización de disparo ya que se presentaría el caso de autodestrucción.



6.2.2. Caso 2: El ángulo α del operador está entre 20° y 99.9° : En este caso se presenta que:

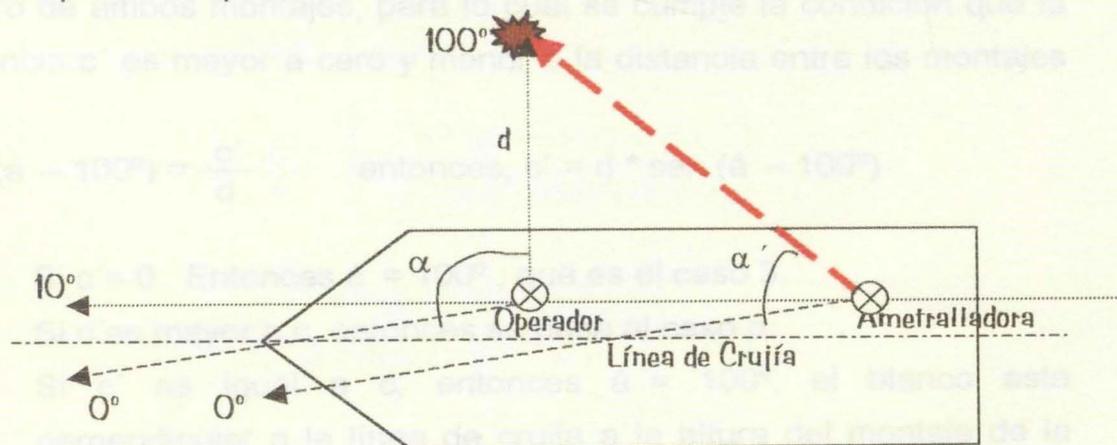


$$a = d * \text{Cos} (\acute{\alpha} - 10) \quad b = d * \text{Sen} (\acute{\alpha} - 10)$$

$$\text{Tang} (\acute{\alpha}' - 10) = \frac{d * \text{Sen} (\acute{\alpha} - 10)}{d * \text{Sen} (\acute{\alpha} - 10) + c}$$

$$\acute{\alpha}' = \text{arc tang} \left(\frac{d * \text{Sen} (\acute{\alpha} - 10)}{d * \text{Sen} (\acute{\alpha} - 10) + c} \right) + 10^\circ$$

6.2.3. Caso 3: El ángulo α del operador es igual a 100° , o sea perpendicular a la unidad a la altura del operador. En este caso se presenta que:

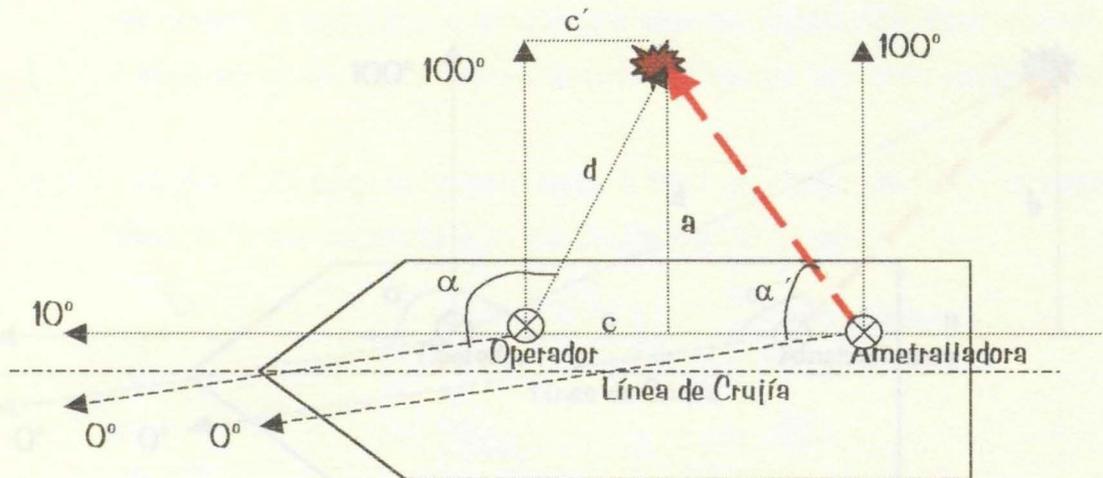


$$\text{Tang} (\acute{\alpha}' - 10) = \frac{d}{c} \quad \acute{\alpha}' = \text{arc tang} \left(\frac{d}{c} \right) + 10^\circ$$

Se observa que es el mismo caso anterior ya que si el ángulo es 100° , menos 10° son 90° , su seno es igual a 1 y su coseno es igual a cero.

6.2.4. Caso 4: El blanco esta en una posición entre ambos montajes.

El ángulo α del operador en este caso puede variar entre 100° y 190° (que es cuando el blanco esta pegado al montaje de la ametralladora).



Primero que todo hay que comprobar que efectivamente el blanco este dentro de ambos montajes, para lo cual se cumple la condición que la distancia c' es mayor a cero y menor a la distancia entre los montajes c .

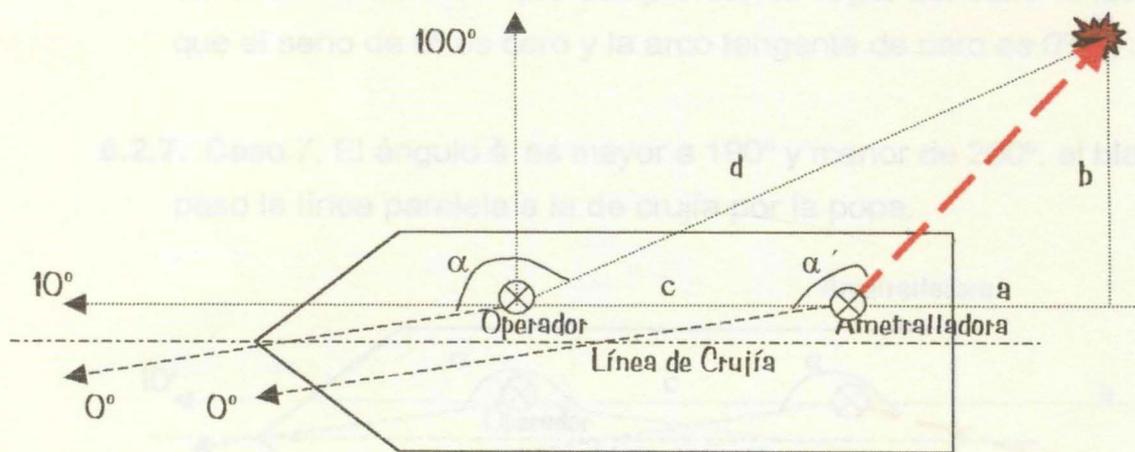
$$\text{sen}(\alpha - 100^\circ) = \frac{c'}{d} \quad \text{entonces, } c' = d * \text{sen}(\alpha - 100^\circ)$$

- Si $c' = 0$ Entonces $\alpha = 100^\circ$, que es el caso 3.
- Si c' es mayor a c , entonces se pasa al caso 5.
- Si c' es igual a c , entonces $\alpha = 100^\circ$, el blanco esta perpendicular a la línea de crujía a la altura del montaje de la ametralladora.
- Si c' es menor a c , entonces $a = d * \text{cos}(\alpha - 100^\circ)$

$$\text{Tang} (\acute{\alpha} - 10^\circ) = \frac{a}{c - c'} \longrightarrow (\acute{\alpha}' - 10^\circ) = \text{arc Tang} \left(\frac{d * \cos (\acute{\alpha} - 100^\circ)}{c - c'} \right)$$

$$\acute{\alpha}' = \text{arc Tang} \left(\frac{d * \cos (\acute{\alpha} - 100^\circ)}{c - c'} \right) + 10^\circ$$

6.2.5. Caso 5. Si c' es mayor a c y $\acute{\alpha}$ es menor o igual a 190° , el blanco estará a popa del montaje de la ametralladora, sin pasar de la línea de crujía.



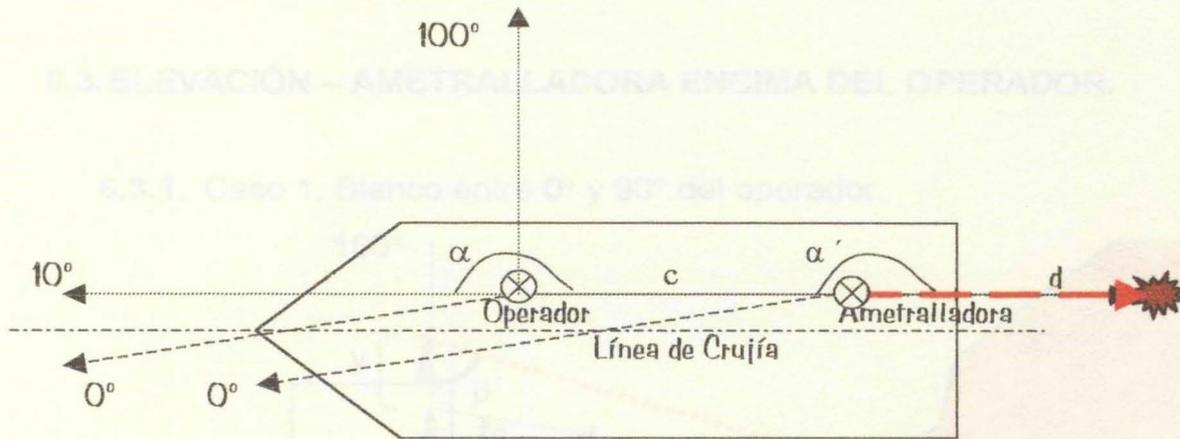
$$\text{sen} (180^\circ - (\acute{\alpha} - 10^\circ)) = \frac{b}{d} \longrightarrow b = d * \text{sen} (190^\circ - \acute{\alpha})$$

$$\text{cos} (190^\circ - \acute{\alpha}) = \frac{a + c}{d} \longrightarrow a = d * \text{cos} (190^\circ - \acute{\alpha}) - c$$

$$\text{Tang} (190^\circ - \acute{\alpha}') = \frac{b}{a} = \left(\frac{d * \text{sen} (190^\circ - \acute{\alpha})}{d * \text{cos} (190^\circ - \acute{\alpha}) - c} \right)$$

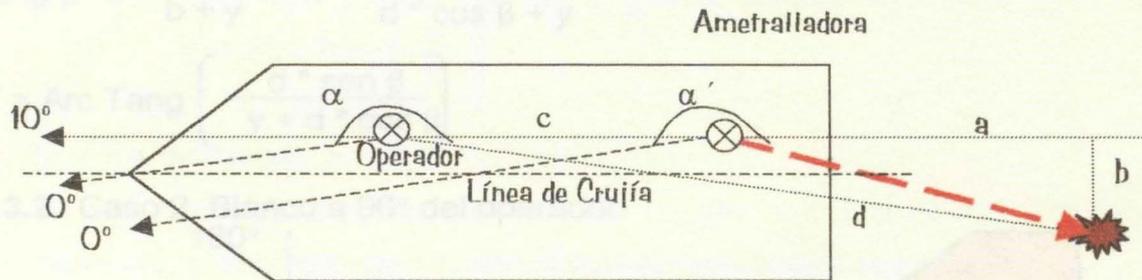
$$\acute{\alpha}' = 190^\circ - \text{arc Tang} \left(\frac{d * \text{sen} (190^\circ - \acute{\alpha})}{d * \text{cos} (190^\circ - \acute{\alpha}) - c} \right)$$

6.2.6. Caso 6. El ángulo $\acute{\alpha}$ es igual a 190° , entonces el ángulo $\acute{\alpha}'$ será también igual a 190° , ya que el blanco se encuentra sobre la línea de apuntamiento de la ametralladora, paralela a la línea de crujía.



Se observa también que cumple con la regla del caso cinco, ya que el seno de 0° es cero y la arco tangente de cero es 0°.

6.2.7. Caso 7. El ángulo $\acute{\alpha}$ es mayor a 190° y menor de 200°, el blanco pasa la línea paralela a la de crujía por la popa.



$$\text{sen}(\acute{\alpha} - 190^\circ) = \frac{b}{d} \Rightarrow b = d * \text{sen}(\acute{\alpha} - 190^\circ)$$

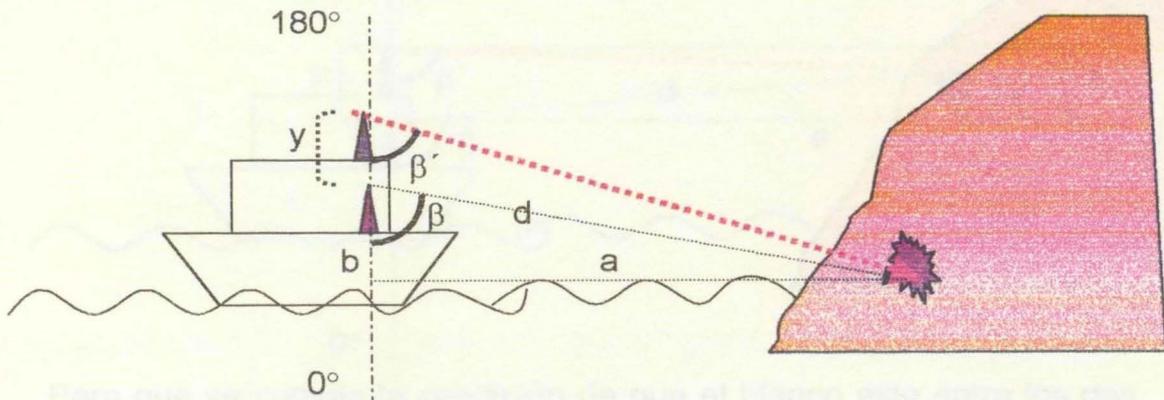
$$\text{cos}(\acute{\alpha} - 190^\circ) = \frac{a + c}{d} \Rightarrow a = d * \text{cos}(\acute{\alpha} - 190^\circ) - c$$

$$\text{Tang}(\acute{\alpha}' - 190^\circ) = \frac{b}{a} = \left(\frac{d * \text{sen}(\acute{\alpha} - 190^\circ)}{d * \text{cos}(\acute{\alpha} - 190^\circ) - c} \right)$$

$$\acute{\alpha}' = 190^\circ + \text{arc Tang} \left(\frac{d * \text{sen}(\acute{\alpha} - 190^\circ)}{d * \text{cos}(\acute{\alpha} - 190^\circ) - c} \right)$$

6.3. ELEVACIÓN – AMETRALLADORA ENCIMA DEL OPERADOR.

6.3.1. Caso 1. Blanco entre 0° y 90° del operador.

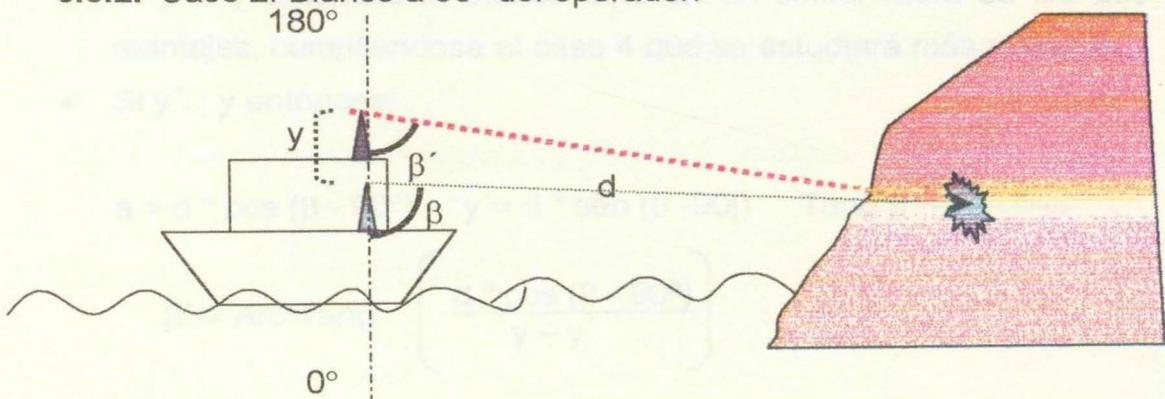


$$a = d * \text{sen } \beta \qquad b = d * \text{cos } \beta$$

$$\text{Tang } \beta' = \frac{a}{b + y} = \frac{d * \text{sen } \beta}{d * \text{cos } \beta + y}$$

$$\beta' = \text{Arc Tang} \left(\frac{d * \text{sen } \beta}{y + d * \text{cos } \beta} \right)$$

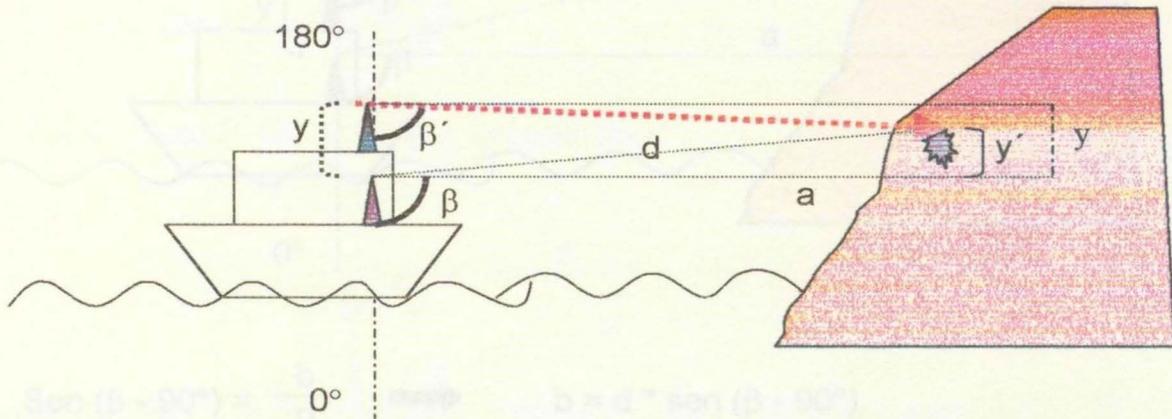
6.3.2. Caso 2. Blanco a 90° del operador.



$$\beta = 90^\circ \qquad \text{Tang } \beta' = \frac{d}{y}$$

$$\beta' = \text{Arc Tang} \left(\frac{d}{y} \right)$$

6.3.3. Caso 3. Blanco entre los dos montajes.



Para que se cumpla la condición de que el blanco este entre los dos montajes se debe cumplir que y' es mayor a cero y menor a y .

- Si $y' = 0$ entonces $\beta = 90^\circ$, que es el mismo caso 2, en el cual:

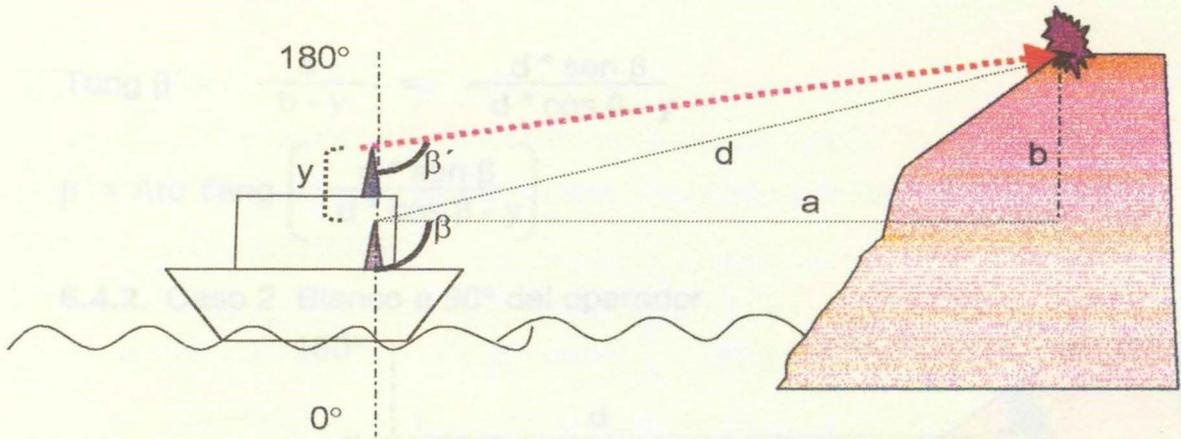
$$\beta' = \text{Arc Tang} \left(\frac{d}{y} \right)$$

- Si $y' = y$, entonces $\beta' = 90^\circ$
- Si $y' < y$ entonces el blanco esta en un sector fuera de los dos montajes, cumpliéndose el caso 4 que se estudiará más adelante.
- Si $y' > y$ entonces:

$$a = d * \cos(\beta - 90^\circ) \quad y' = d * \sin(\beta - 90^\circ) \quad \text{Tang } \beta' = \frac{a}{y - y'}$$

$$\beta' = \text{Arc Tang} \left(\frac{d * \cos(\beta - 90^\circ)}{y - y'} \right)$$

6.3.4. Caso 4. Blanco entre 90.1° y 180° del operador pero fuera de los dos montajes.



$$\text{Sen } (\beta - 90^\circ) = \frac{b}{d} \quad \longrightarrow \quad b = d * \text{sen } (\beta - 90^\circ)$$

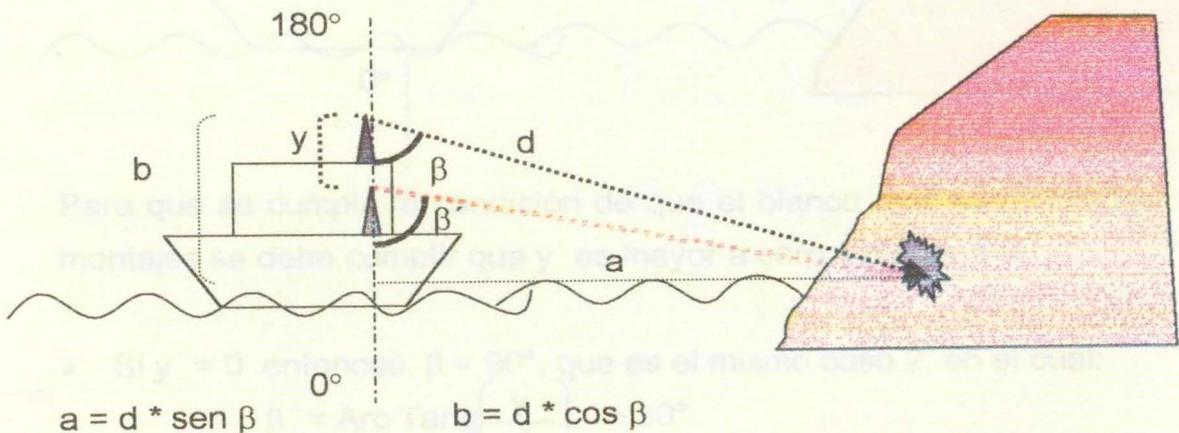
$$\text{Cos } (\beta - 90^\circ) = \frac{a}{d} \quad \longrightarrow \quad a = d * \text{cos } (\beta - 90^\circ)$$

$$\text{Tang } \beta' = \frac{a}{b + y} = \frac{d * \text{sen } \beta}{d * \text{cos } \beta + y}$$

$$\beta' = \text{Arc Tang} \left(\frac{d * \text{sen } \beta}{y + d * \text{cos } \beta} \right)$$

6.4. ELEVA CIÓN – AMETRALLADORA DEBAJO DEL OPERADOR.

6.4.1. Caso 1. Blanco entre 0° y 89.9] del operador.



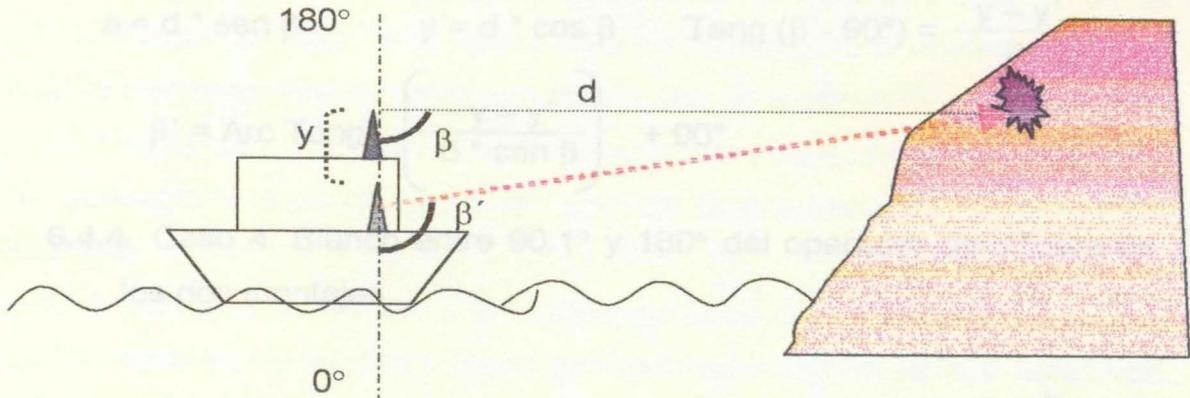
$$a = d * \text{sen } \beta$$

$$b = d * \text{cos } \beta$$

$$\text{Tang } \beta' = \frac{a}{b-y} = \frac{d \cdot \text{sen } \beta}{d \cdot \text{cos } \beta - y}$$

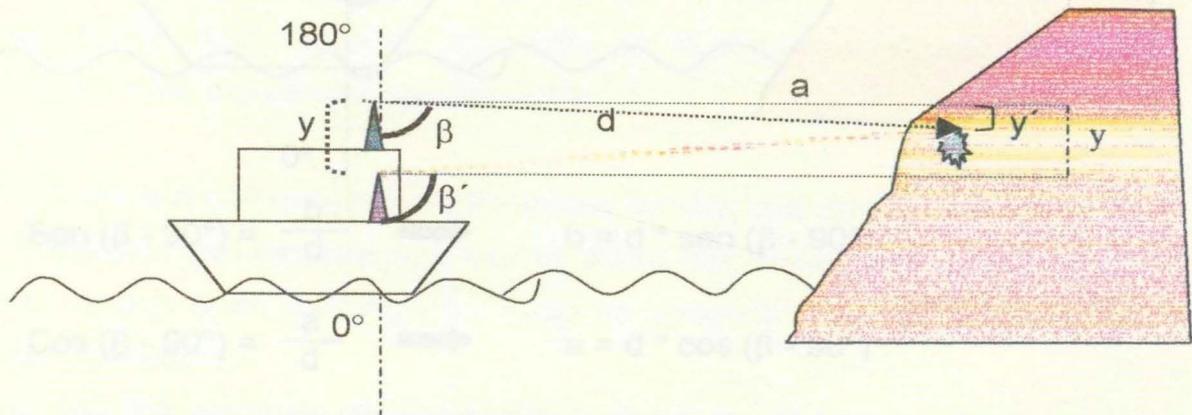
$$\beta' = \text{Arc Tang} \left(\frac{d \cdot \text{sen } \beta}{d \cdot \text{cos } \beta - y} \right)$$

6.4.2. Caso 2. Blanco a 90° del operador.



$$\text{Tang} (\beta' - 90^\circ) = \frac{y}{d} \quad \beta' = \text{Arc Tang} \left(\frac{y}{d} \right) + 90^\circ$$

6.4.3. Caso 3. Blanco entre los dos montajes.



Para que se cumpla la condición de que el blanco este entre los dos montajes se debe cumplir que y' es mayor a cero y menor a y .

- Si $y' = 0$ entonces $\beta = 90^\circ$, que es el mismo caso 2, en el cual:

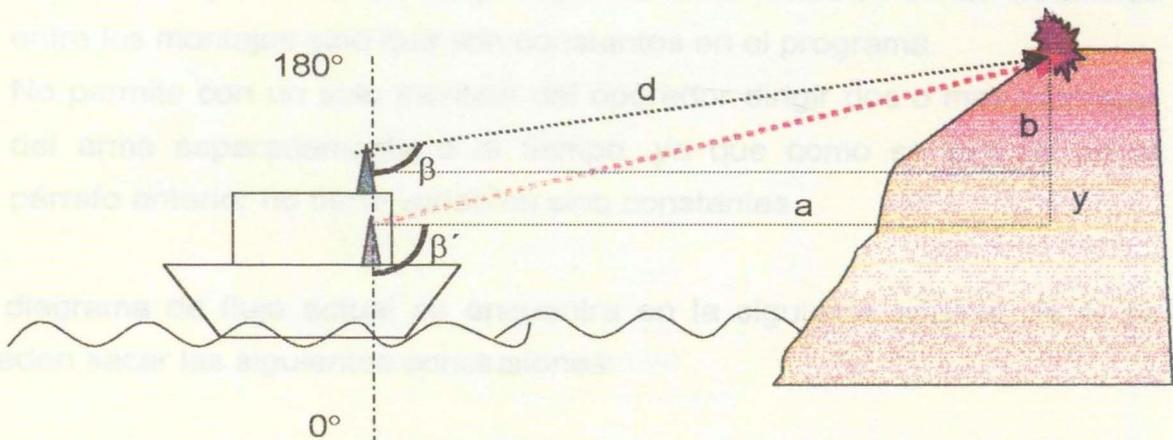
$$\beta' = \text{Arc Tang} \left(\frac{y}{d} \right) + 90^\circ$$

- Si $y' = y$, entonces $\beta' = 90^\circ$
- Si $y' < y$ entonces el blanco esta en un sector fuera de los dos montajes, cumpliéndose el caso 4 que se estudiará más adelante.
- Si $y' > y$ entonces:

$$a = d * \text{sen } \beta \quad y' = d * \text{cos } \beta \quad \text{Tang } (\beta' - 90^\circ) = \frac{y - y'}{a}$$

$$\beta' = \text{Arc Tang} \left(\frac{y - y'}{d * \text{sen } \beta} \right) + 90^\circ$$

6.4.4. Caso 4. Blanco entre 90.1° y 180° del operador pero fuera de los dos montajes.



$$\text{Sen } (\beta - 90^\circ) = \frac{b}{d} \quad \longrightarrow \quad b = d * \text{sen } (\beta - 90^\circ)$$

$$\text{Cos } (\beta - 90^\circ) = \frac{a}{d} \quad \longrightarrow \quad a = d * \text{cos } (\beta - 90^\circ)$$

$$\text{Tang } (\beta' - 90^\circ) = \frac{b + y}{a} = \frac{d * \text{sen } (\beta - 90^\circ) + y}{d * \text{cos } (\beta - 90^\circ)}$$

$$\beta' = \text{Arc Tang} \left(\frac{d * \text{sen } (\beta - 90^\circ) + y}{d * \text{cos } (\beta - 90^\circ)} \right) + 90^\circ$$

7. DESARROLLO DEL ALGORITMO LÓGICO O FLUJOGRAMA.

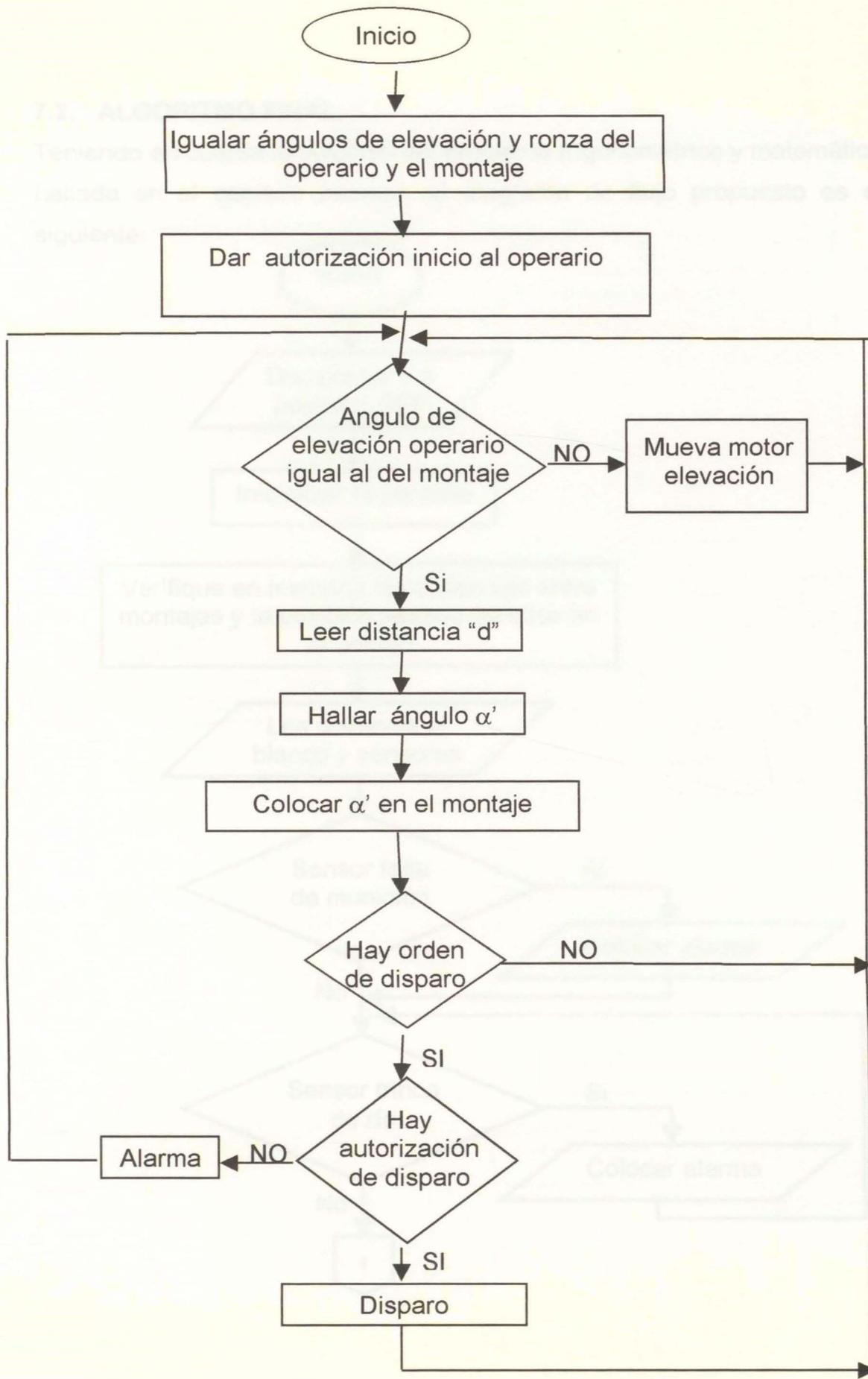
7.1. ALGORITMO ACTUAL.

Es conveniente en este momento recordar el estado actual del proyecto:

- Ambos montajes deben estar colocados en la misma cubierta de la unidad fluvial (es decir, a la misma altura con respecto al nivel del río).
- Ambos montajes deben estar colocados por el costado de estribor de la unidad fluvial (es decir, al costado derecho del buque, estando el montaje del operador a proa de la unidad y el de la ametralladora en la media cubierta).
- Ambos montajes están fijos a la unidad, es decir no permite mover alguno de los montajes de su sitio original por no tener variables en las distancias entre los montajes sino que son constantes en el programa.
- No permite con un solo montaje del operador dirigir dos o mas montajes del arma separadamente o al tiempo, ya que como se explico en el párrafo anterior no tiene variables sino constantes.

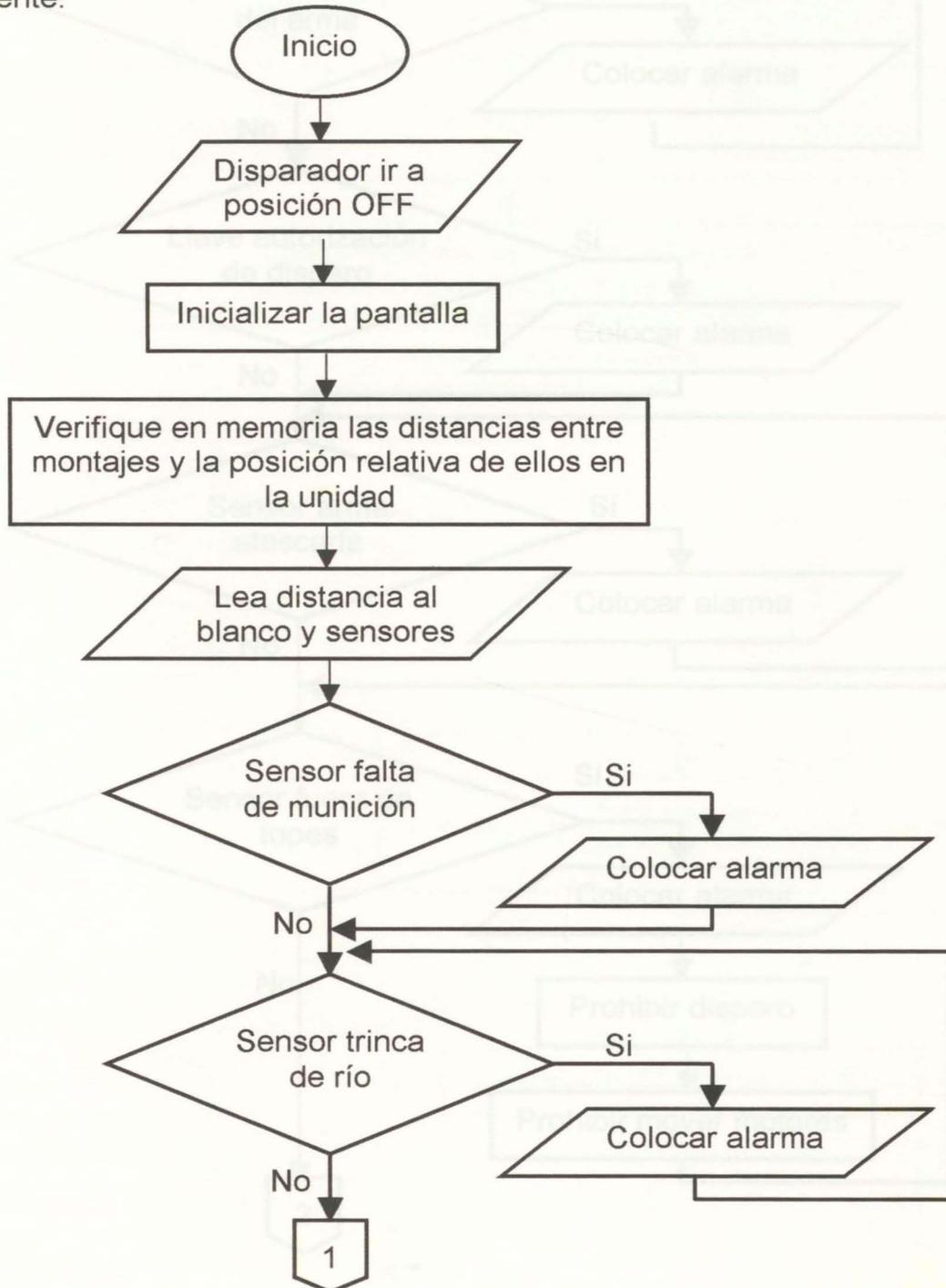
El diagrama de flujo actual se encuentra en la siguiente página, de él se pueden sacar las siguientes conclusiones:

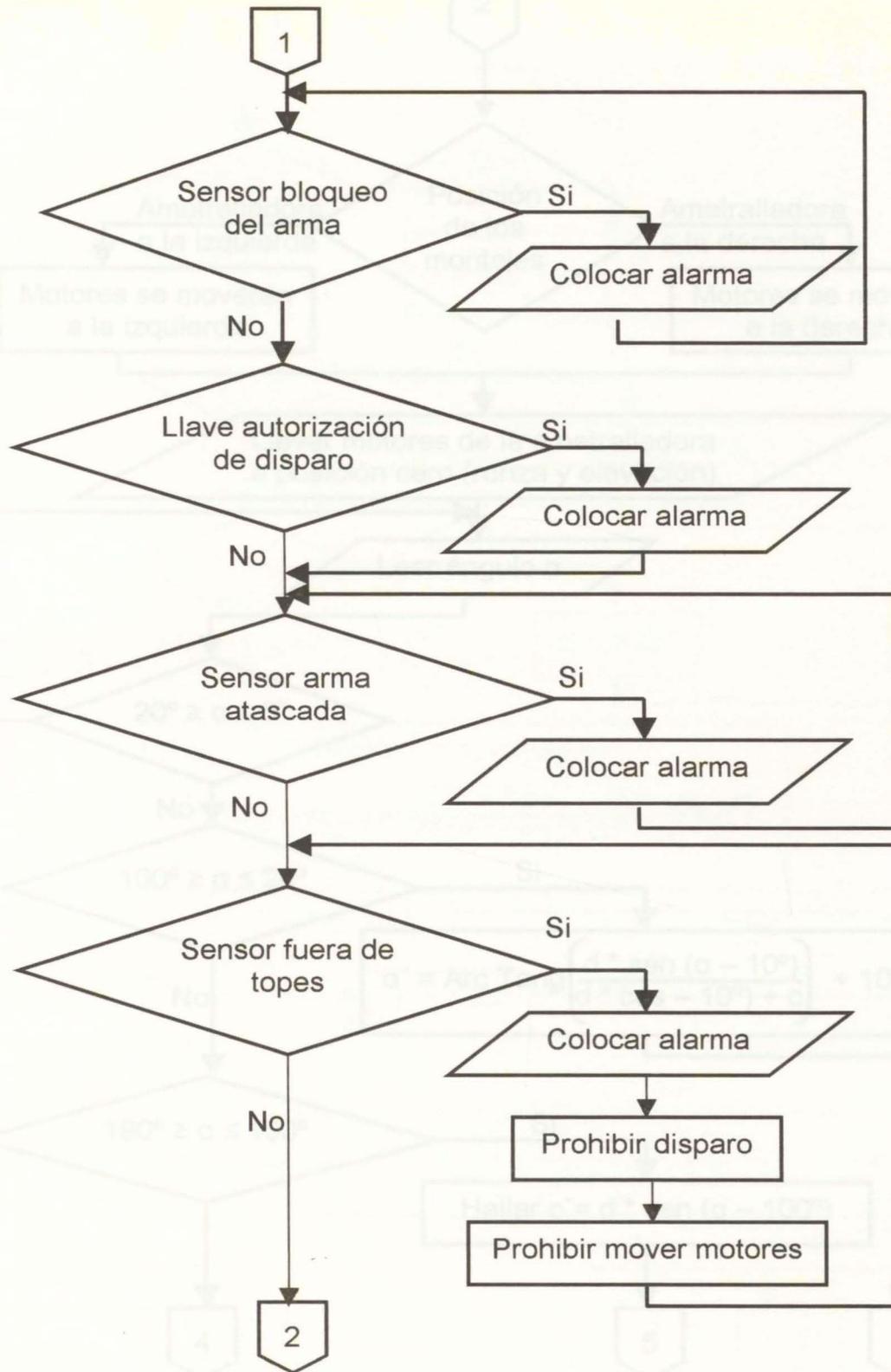
- Se continuará con la subrutina de igualar los ángulos de elevación y ronza del operario y el montaje una vez se inicie con el sistema, con el fin de evitar que la boca de fuego del arma se encuentre apuntando hacia un lugar no deseado.
- Una vez los ángulos de elevación y ronza de ambos montajes estén iguales se le da al operario la autorización de continuar con el manejo del sistema, así mismo, se desactiva el doble seguro de "disparo" (desactivados hasta el momento con el fin de prevenir accidentes).
- Cambia toda la subrutina de seguir el ángulo de elevación en igual magnitud a la del operario e ir corrigiendo el ángulo de ronza de acuerdo con la fórmula de α' , de acuerdo con el nuevo programa.

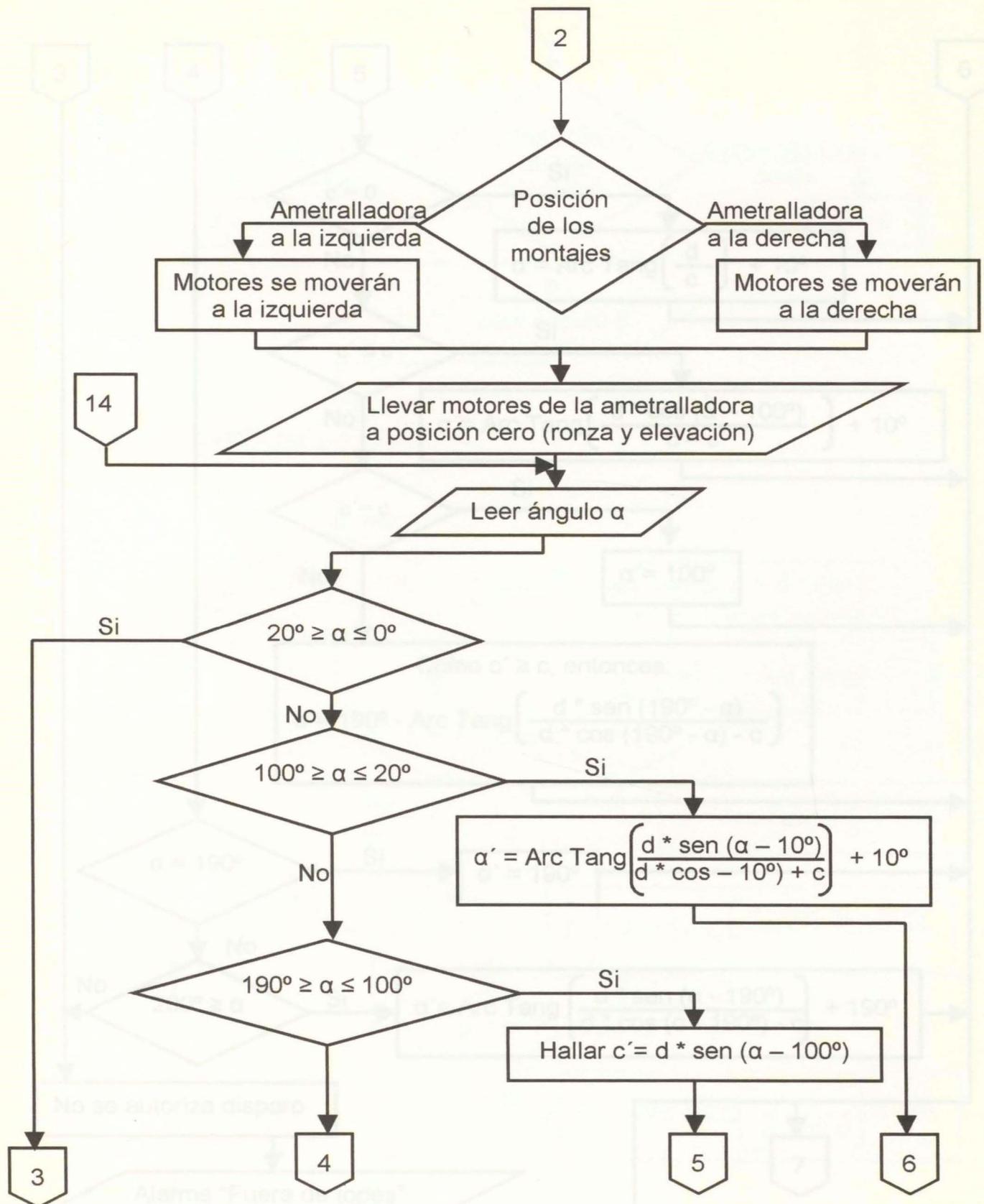


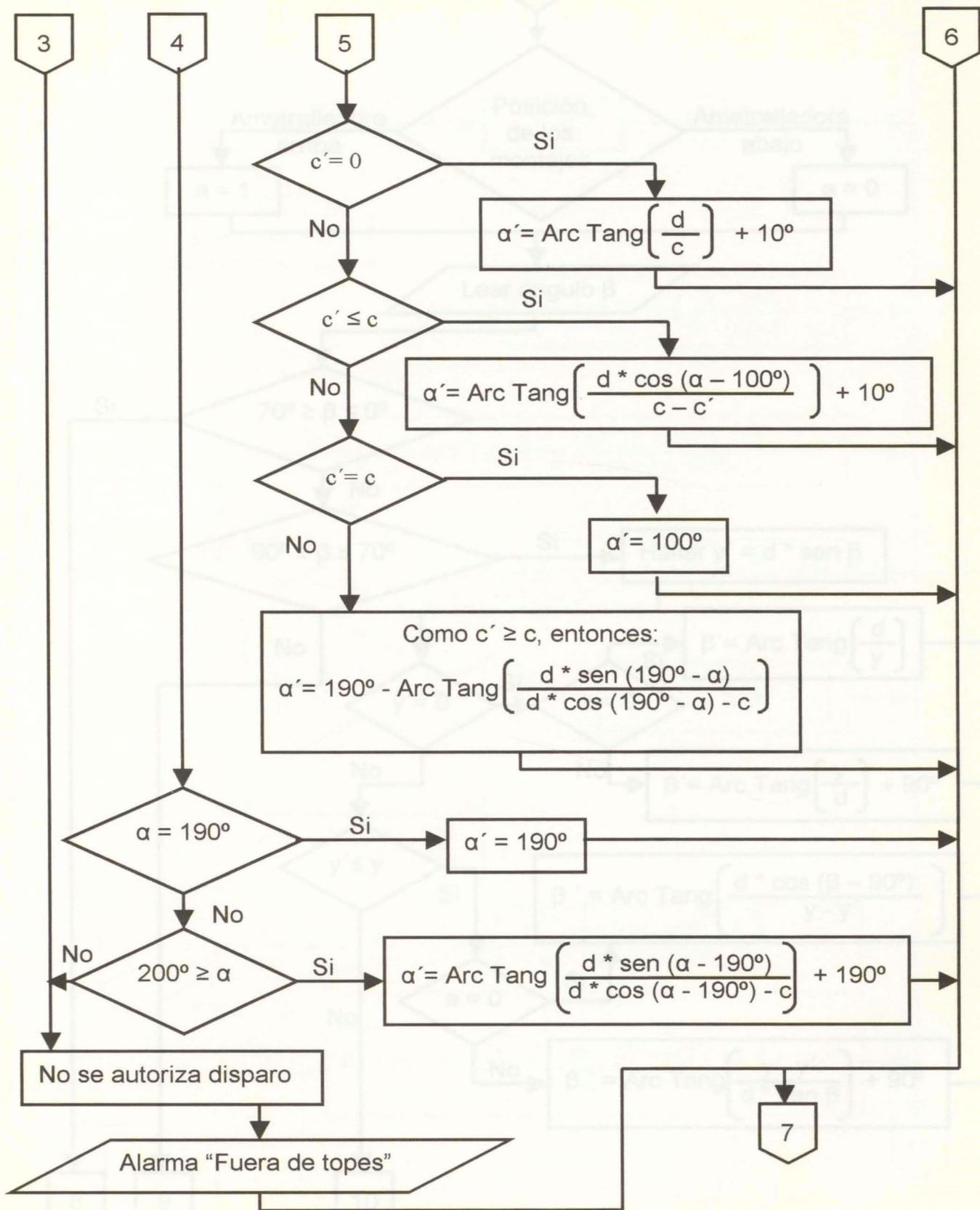
7.2. ALGORITMO FINAL.

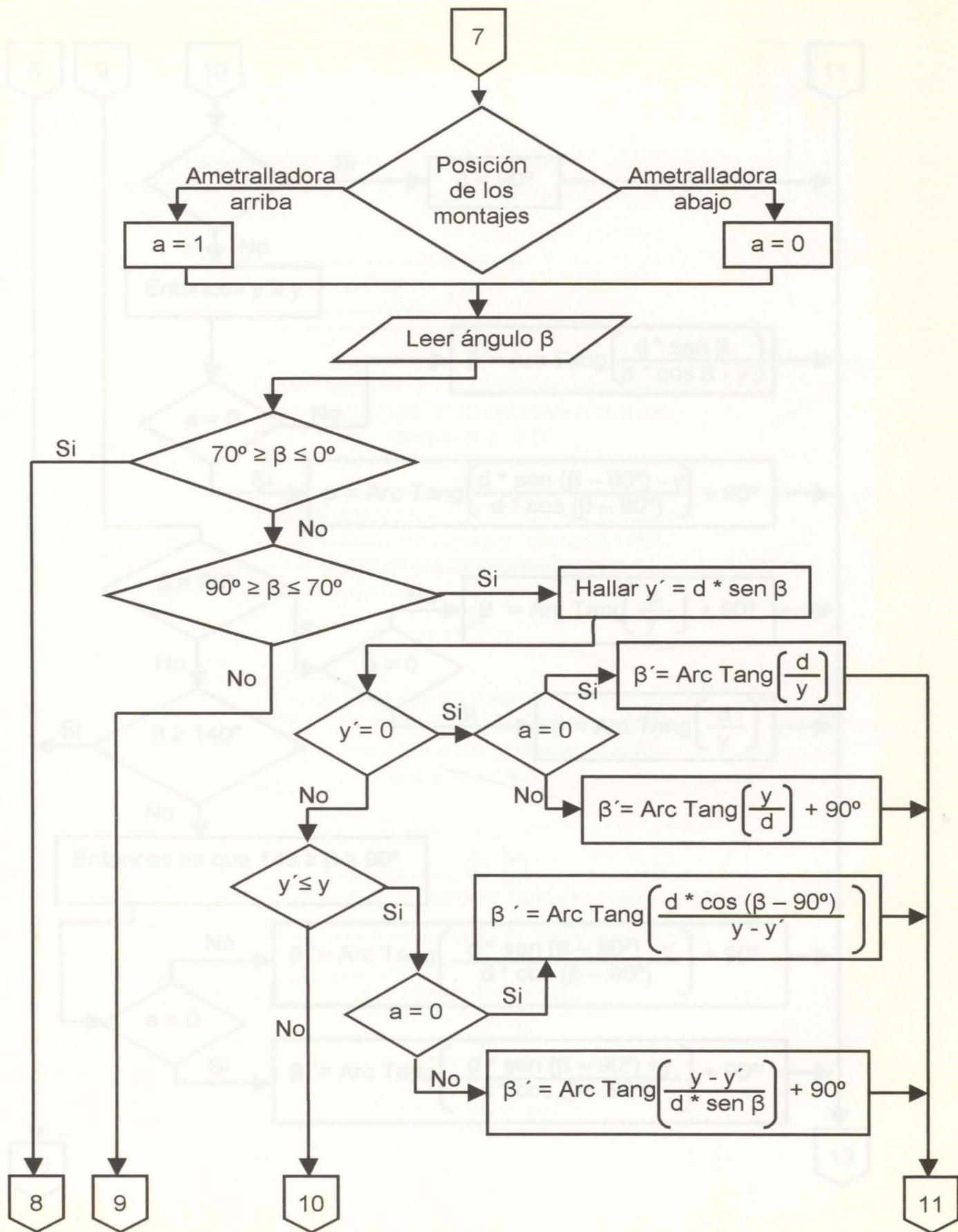
Teniendo en cuenta la solución del problema trigonométrico y matemático hallada en el capítulo pasado, el diagrama de flujo propuesto es el siguiente:

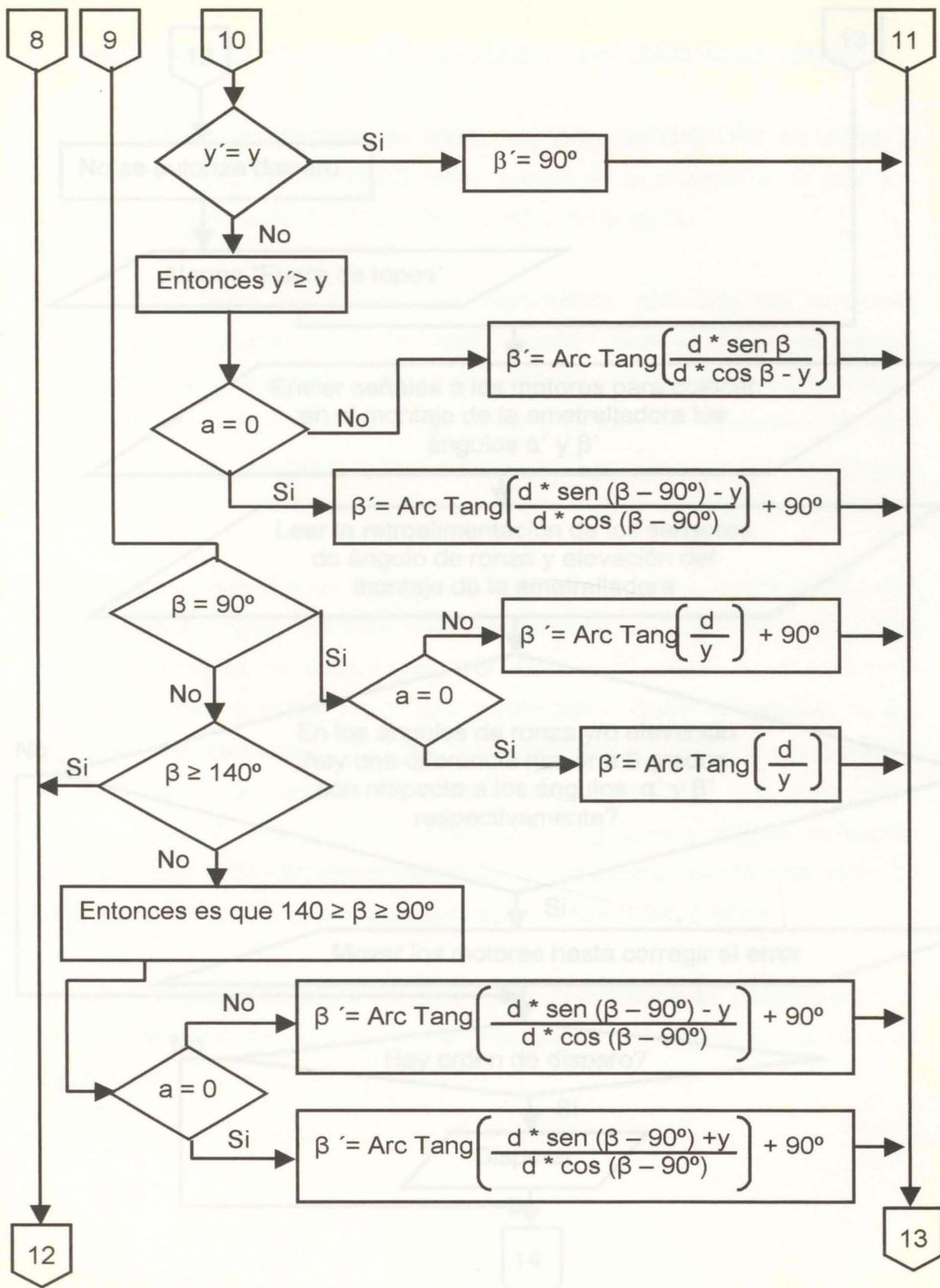


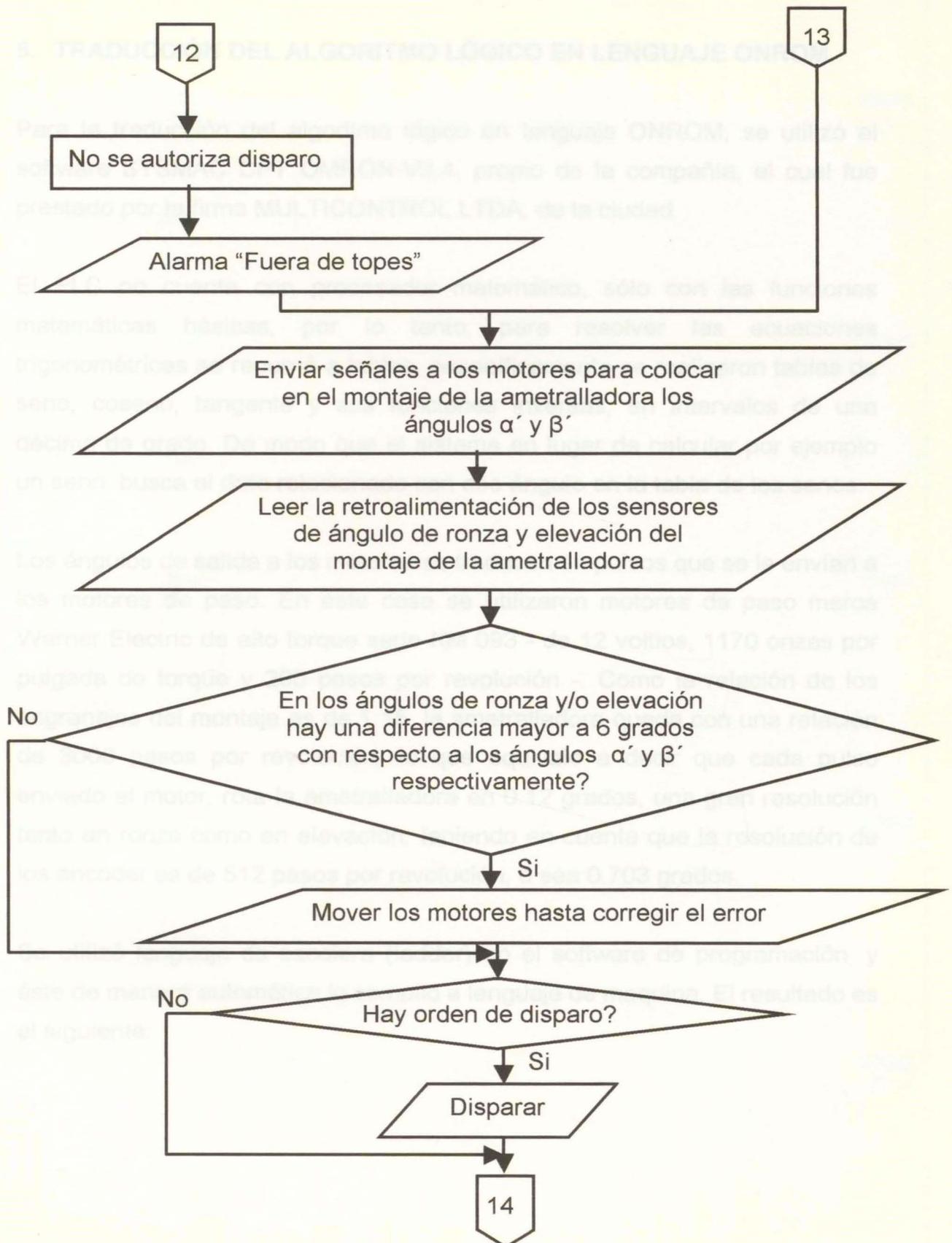












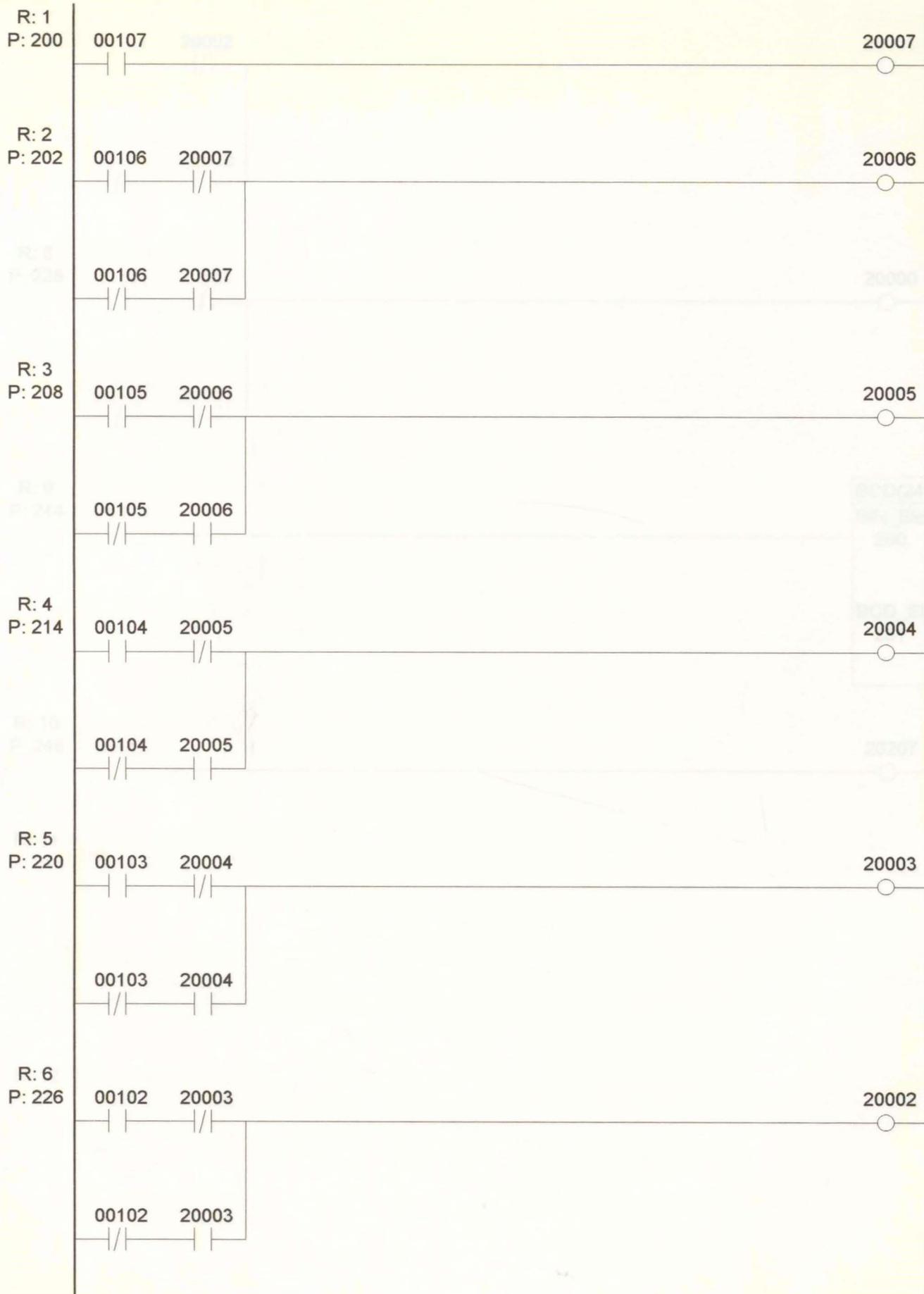
8. TRADUCCIÓN DEL ALGORITMO LÓGICO EN LENGUAJE ONROM.

Para la traducción del algoritmo lógico en lenguaje ONROM, se utilizó el software SYSMAC CPT OMRON-V3.4, propio de la compañía, el cual fue prestado por la firma MULTICONTROL LTDA, de la ciudad.

El PLC no cuenta con procesador matemático, sólo con las funciones matemáticas básicas, por lo tanto, para resolver las ecuaciones trigonométricas se recurrió a tablas, específicamente se realizaron tablas de seno, coseno, tangente y sus funciones inversas, en intervalos de una décima de grado. De modo que el sistema en lugar de calcular por ejemplo un seno, busca el dato relacionado con ese ángulo en la tabla de los senos.

Los ángulos de salida a los motores se traducen en pulsos que se le envían a los motores de paso. En este caso se utilizaron motores de paso marca Warner Electric de alto torque serie KM 093 - de 12 voltios, 1170 onzas por pulgada de torque y 200 pasos por revolución -. Como la relación de los engranajes del montaje es de 1:15, la ametralladora queda con una relación de 3000 pasos por revolución, lo que equivale a decir que cada pulso enviado al motor, rota la ametralladora en 0.12 grados, una gran resolución tanto en ronza como en elevación, teniendo en cuenta que la resolución de los encoder es de 512 pasos por revolución, o sea 0.703 grados.

Se utilizó lenguaje de escalera (ladder) en el software de programación, y éste de manera automática lo compilo a lenguaje de maquina. El resultado es el siguiente:



R: 7
P: 232

00101 20002

20001

00101 20002

R: 8
P: 238

00100 20001

20000

00100 20001

R: 9
P: 244

25313

BCD(24)
BIN_Ele
200

BCD_El
201

R: 10
P: 246

00115

20207

R: 11
P: 248

00114 20207

20206

R: 17
P: 284

00114 20207

20200

R: 12
P: 254

00113 20206

20205

00113 20206

R: 13
P: 260

00112 20205

20204

00112 20205

BCD_P
203

R: 14
P: 266

00111 20204

20203

00111 20204

R: 15
P: 272

00110 20203

20202

00110 20203

R: 16
P: 278

00109 20202

20201

00109 20202

R: 17
P: 284

00108 20201

20200

00108 20201

R: 18
P: 290

25313

BCD(24)
BIN_Ro
202

BCD_Rc
203

DM0012
202

DM0012
202

#1100

DM0016
202

BCD(24)
BIN_Ro
202
DM0016
202
Ronda
DM0020

ADM(30)
BIN_Ro
202
DM0020
202

Ronda
DM0024

R: 19
P: 292

25313

25401

MLB(52)
BIN_Rot
202

#0140

DM0012

R: 21
P: 301

00030

25401

DVB(53)

DM0012

#0100

DM0016

R: 22
P: 306

00008

25401

R: 23
P: 309

00006

25401

BCD(24)

DM0016

Ronza_3
DM0020

R: 24
P: 313

00305

ADD(30)

Ronza_3
DM0020

R: 25
P: 315

00301

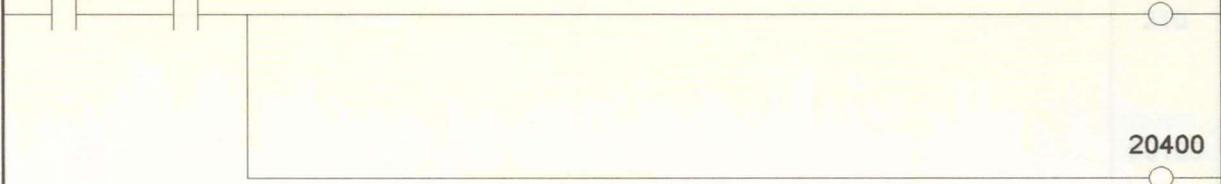
#0360

Ronza_7
DM0024

R: 20
P: 297

00005 25401

20600



R: 21
P: 301

00006 25401

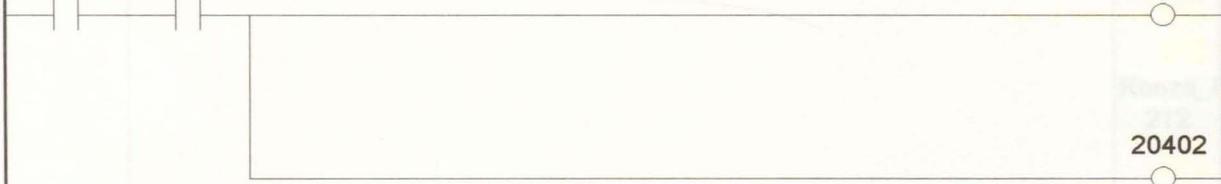
20601



R: 22
P: 305

00008 25401

20602



R: 23
P: 309

00009 25401

20603



R: 24
P: 313

00300

21000



R: 25
P: 315

00301

21001



R: 26
P: 317

25313

MUL(32)

210

#0100

211

R: 27
P: 319

25313

ADD(30)

211

002

Ronza_1
212

ADD(30)

Ronza_1
212

#0360

Ronza_1
224

Ronza_1
224

Ronza_1
224

R: 28
P: 322

25313

CMP(20)
Ronza_I
224

Ronza_I
DM0024

25505

20604

SUB(31)
Ronza_I
224

Ronza_I
DM0024

25507

Error_R
DM0028

20605

SUB(31)
Ronza_I
DM0024

Ronza_I
224

25506

Error_R
DM0028

20701

R: 33
P: 348

28313

SUB(31)
Ronza_7
DM0024

Ronza_I
224

Error_R
DM0028

R: 29
P: 336

20600

10000

20601

20604

20605

R: 30
P: 341

20601

10001

20604

R: 31
P: 344

00302

18000

R: 32
P: 346

00303

18001

R: 33
P: 348

25313

MUL(32)

180

#0100

182

ADD(30)

182

004

Eleva_M
184

ADD(30)

Eleva_M
184

#0360

Eleva_M
188

Order #
D44034

Order #
D44040

MLB(52)
BIN_Ele
200

25305

#0140

DM0030

DVB(53)

DM0030

25307

#0100

DM0034

BCD(24)

DM0034

Orden_E
DM0038

25309

SUB(31)

#0695

Orden_E
DM0038

Orden_E
DM0040

R: 35
P: 357

25313

CMP(20)
Eleva_M
188

Orden_E
DM0040

25505

20606

SUB(31)
Eleva_M
188

Orden_E
DM0040

Error_El
DM0044

25507

20607

SUB(31)
Orden_E
DM0040

Eleva_M
188

Error_El
DM0044

25506

20702

R: 36
P: 379

25813

SUB(31)
Orden_E
DM0040

Eleva_M
188

Error_El
DM0044

R: 36
P: 371

20602

25807

10002

R: 36
P: 367

20603

20606

20607

25805

20602

R: 37
P: 376

20603

25807

10003

20606



R: 38
P: 379

25313

CMP(20
Error_R
DM0028

#0015

25505

20801

25507

20800

R: 39
P: 387

25313

CMP(20
Error_EI
DM0044

#0010

25505

20802

25507

20803

R: 40
P: 395

10000

PULS(6

001

004

000

R: 43
P: 402

20701

SPED(0

001

001

#0005

R: 41
P: 398

20800

ACC(8

001

001

DM0200

R: 42
P: 400

20801

ACC(8)

001

001

DM0204

R: 43
P: 402

20701

SPED(

001

001

#0000

R: 43
P: 402

20701

ACC(8)

001

001

DM0204

ACC(8)

001

001

DM0204

R: 44
P: 404

10002

PULS(

002

004

000

R: 47
P: 411

20782

SPED(

002

001

#0002

R: 45
P: 407

20803

20400

ACC(8

002

000

DM0208

R: 48
P: 416

20401

20401

R: 50
P: 418

20402

20402

R: 51
P: 420

20403

20403

10003

10007

10008

R: 46
P: 409

20802

07001

ACC(8)

002

001

DM0212

R: 47
P: 411

20702

SPED(

002

001

#0000

R: 48
P: 413

20400

10006

20401

R: 49
P: 416

20401

10005

R: 50
P: 418

20402

10007

R: 51
P: 420

20403

10008



9. ANÁLISIS DE COMPATIBILIDAD DEL PROGRAMA.

END(01)

Como se detalló en el capítulo anterior, se hizo que cambiara solo la primera etapa del programa - la fase de igualar los ángulos de elevación de ambos montajes y la fase de hallar matemáticamente el ángulo de rozas de la ametralladora α' -, por una etapa del programa más completa en la cual se hallarán los ángulos de elevación y rozas de la ametralladora α' y β' dependiendo de las variables distancia al blanco "d", la posición relativa de los montajes, distancia horizontal entre los montajes "e" y distancia vertical entre los montajes "y".

El resto del programa - referente a la seguridad en Desapuntamiento⁶, alarmas seguros de disparo, rutinas propias para lectura de sensores, señales a los actuadores, lectura y visualización de la pantalla, subrutinas de perfección, etc. -, siguió igual.

No se presentó repetición o superposición de variables o constantes, errores de direccionamiento de memoria ni subrutinas de no retorno.

Una vez compilado el programa completo, el sistema probó analíticamente el programa para detectar fallos. Se detectaron algunas, básicamente errores menores de programación propios de todo programador, los cuales se corrigieron y el sistema quedó funcionando a la perfección.

Se puede concluir que hubo una excelente compatibilidad del programa anterior con el nuevo. Por tanto, continuarán los mismos parámetros de diseño del sistema completo.

⁶ Desapuntamiento significa que la mira del arma está desfasada más de 5 grados con respecto a donde debería estar apuntando. Hay alarma porque si se llega a disparar puede causar daños no deseados, por eso inhibe el disparo.

9. ANÁLISIS DE COMPATIBILIDAD DEL PROGRAMA.

• Velocidad elevación: 40 grados / segundo.

Como se determinó en el capítulo anterior, se tuvo que cambiar solo la primera etapa del programa – la fase de igualar los ángulos de elevación de ambos montajes y la fase de hallar matemáticamente el ángulo de ronza de la ametralladora α' -, por una etapa del programa más completo en la cual se hallarán los ángulos de elevación y ronza de la ametralladora α' y β' dependiendo de las variables distancia al blanco "d", la posición relativa de los montajes, distancia horizontal entre los montajes "c" y distancia vertical entre los montajes "y".

El resto del programa – referente a la seguridad en Desapuntamiento⁶, alarmas, seguros de disparo, rutinas propias para lectura de sensores, ordenes a los actuadores, lectura y visualización de la pantalla, subrutinas de protección, etc. -, siguió igual.

No se presentó repetición o superposición de variables o constantes, errores de direccionamiento de memoria ni subrutinas de no retorno.

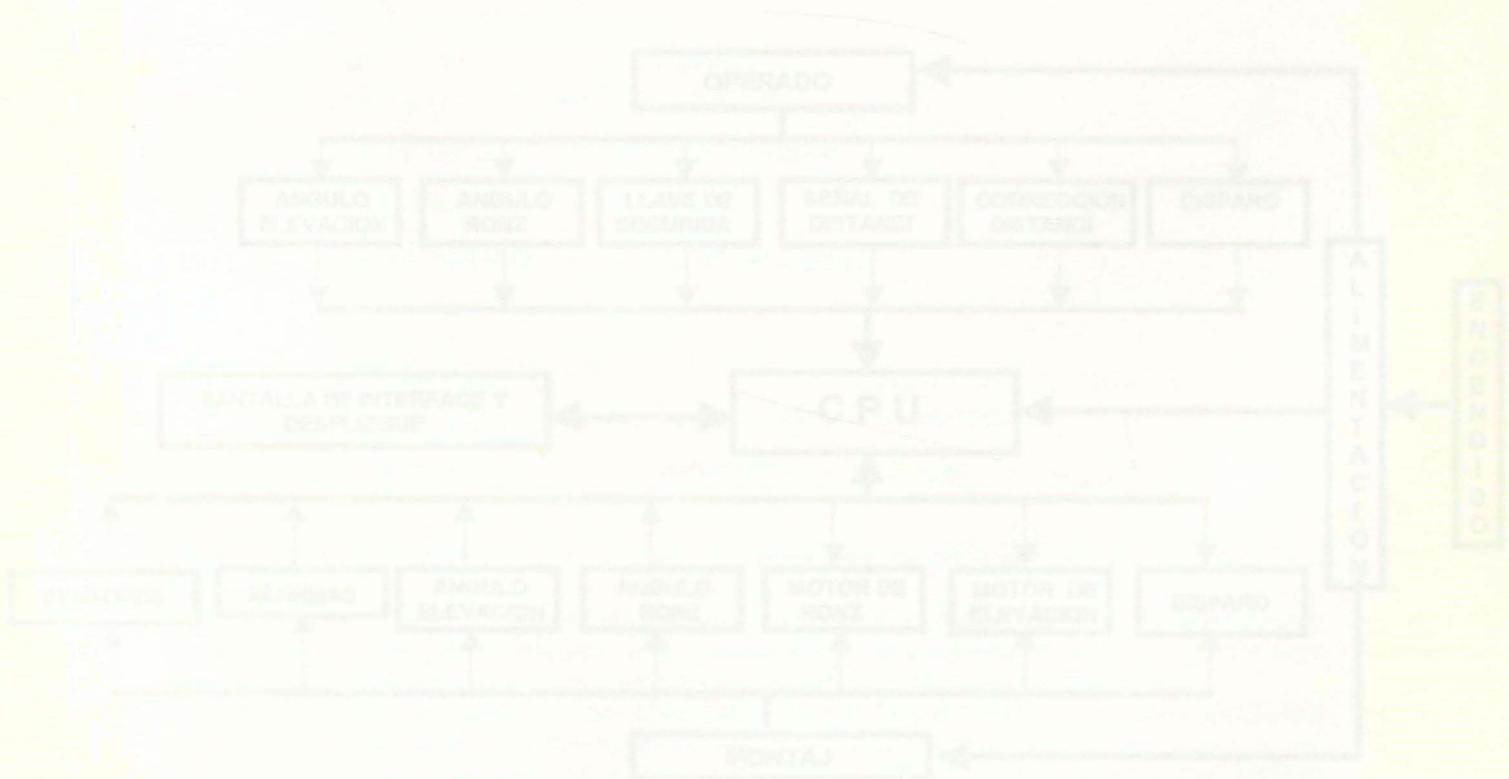
Una vez compilado el programa completo, el sistema probó analíticamente el programa para detectar fallas. Se detectaron algunas, básicamente errores menores de programación propios de todo programador, las cuales se corrigieron y el sistema quedó funcionando a la perfección.

Se puede concluir que hubo una excelente compatibilidad del programa anterior con el nuevo. Por tanto, continuarán los mismos parámetros de diseño del sistema completo:

⁶ Desapuntamiento significa que la mira del arma está desfasada más de 5 grados con respecto a donde debería estar apuntando. Hay alarma porque si se llega a disparar puede causar daños no deseados, por eso inhibe el disparo.

- Velocidad ronzá: 60 grados / segundo
- Velocidad elevación: 40 grados / segundo.
- Distancia al blanco: desde 0 a 1000 metros.
- Voltaje de Alimentación: 24 Voltios.
- Debe poderse disparar manualmente en caso de falla del sistema de control.
- No habrá disparo si el montaje del arma tiene una diferencia mayor a 5 grados con respecto a donde debería estar apuntando.

La configuración del sistema es la siguiente:

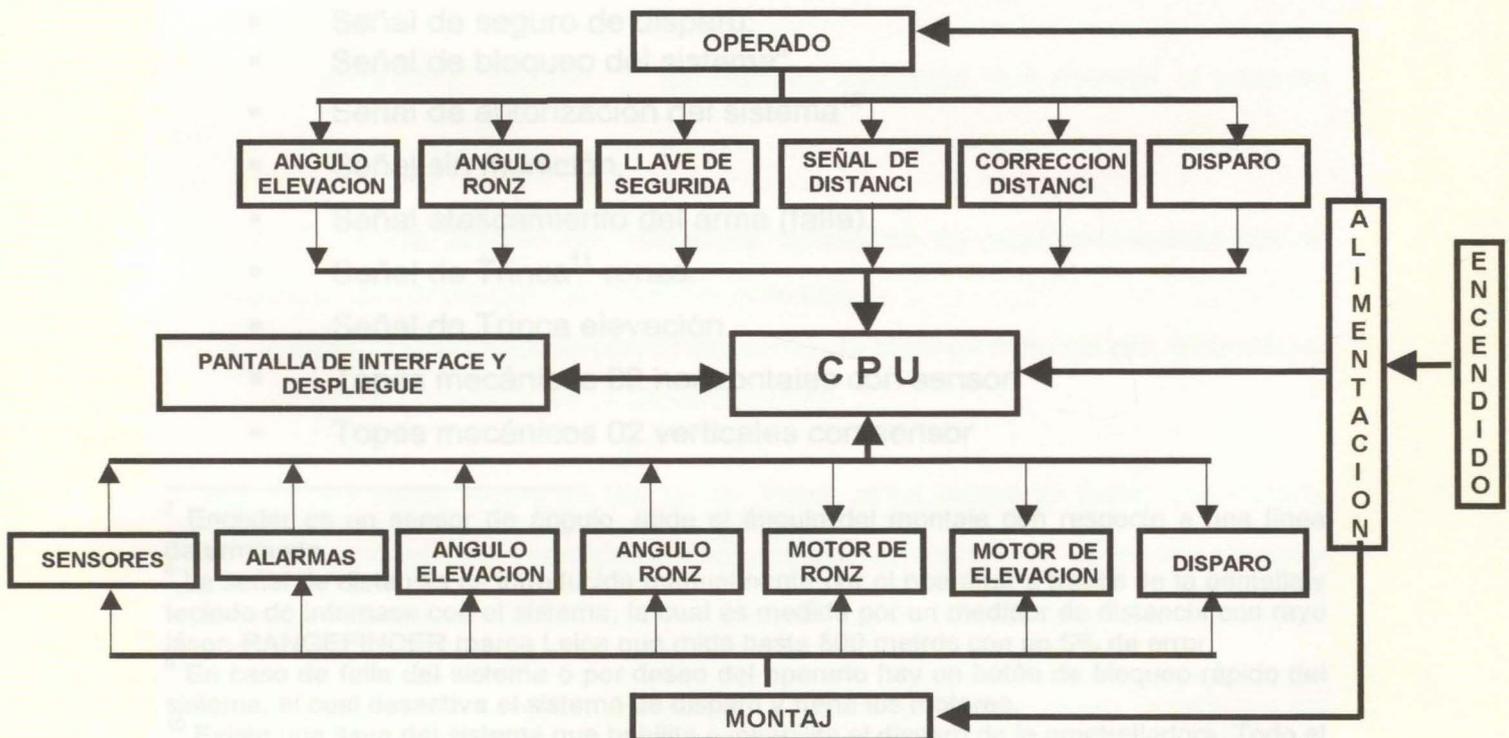


10. DETERMINACIÓN DEL HARDWARE NECESARIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA.

ENTRADAS

Primero que todo es necesario comparar las señales que está manejando actualmente el sistema y las que necesitaría éste para manejar el programa ya diseñado, y así determinar el hardware que se necesita implementar. Luego se va a verificar la capacidad de la CPU utilizada por el sistema y las capacidades en memoria, velocidad de procesamiento y en entradas y salidas necesarias para procesar el nuevo programa, y así verificar si se cuenta con la capacidad necesaria o es necesario adquirir una de mayor capacidad.

La configuración del sistema es la siguiente:



10.1. SEÑALES QUE ACTUALMENTE MANEJA EL SISTEMA.

ENTRADAS:

- Señal encoder⁷ ronza operador.
- Señal encoder elevación operador.
- Señal encoder ronza montaje.
- Señal encoder elevación montaje.
- Señal de distancia⁸.
- Señal corrección a la izquierda.
- Señal corrección a la derecha.
- Señal corrección arriba.
- Señal corrección abajo.
- Señal corrección rápida.
- Señal de disparo.
- Señal de seguro de disparo.
- Señal de bloqueo del sistema⁹.
- Señal de autorización del sistema¹⁰
- Señal sin munición.
- Señal atascamiento del arma (falla).
- Señal de Trinca¹¹ ronza.
- Señal de Trinca elevación.
- Topes mecánicos 02 horizontales con sensor
- Topes mecánicos 02 verticales con sensor

⁷ Encoder es un sensor de ángulo, mide el ángulo del montaje con respecto a una línea determinada.

⁸ La señal de distancia es introducida manualmente por el operador a través de la pantalla y teclado de internase con el sistema, la cual es medida por un medidor de distancia con rayo láser, RANGEFINDER marca Leica que mide hasta 800 metros con un 5% de error.

⁹ En caso de falla del sistema o por deseo del operario hay un botón de bloqueo rápido del sistema, el cual desactiva el sistema de disparo y frena los motores.

¹⁰ Existe una llave del sistema que habilita o inhabilita el disparo de la ametralladora. Todo el sistema funciona normalmente, pero si la llave no esta puesta, el operario puede dar la orden de disparo y el sistema no cumple la orden.

¹¹ Trinca es un seguro de movimiento, el cual esta colocado normalmente para evitar el movimiento de la ametralladora mientras no esta en uso. Se quita una vez se entra en zafarrancho de guerra y se va a usar el sistema.

- β = Señal de ángulo de elevación del operador, la cual es medida por el encoder de ronza del montaje del operador.
- SALIDAS:**
- Motor ronza¹².
 - Motor elevación.
 - Autorización disparo 1.
 - Autorización disparo 2¹³.
 - Disparo manual¹⁴.
 - Alarmas:
 - ✓ Destrincada.
 - ✓ Bloqueo del sistema.
 - ✓ Falla.
 - ✓ Autorización de disparo.
 - ✓ Sin munición.
 - ✓ Desapuntamiento¹⁵

Como se trató en el capítulo 7, las nuevas variables que maneja el sistema son:

- α = Señal de ángulo de ronza del operador, la cual es medida por el encoder de ronza del montaje del operador.
- α' = Señal de ángulo de ronza del arma, la cual es medida por el encoder de ronza del montaje de la ametralladora.

10.3 HARDWARE ADICIONAL DEL PROYECTO

¹² Esta es una salida binaria de tres líneas: Tierra, señal binaria de pulsos (los motores usados son de pasos), y la señal de sentido de movimiento.

¹³ Se colocaron dos señales paralelas e independientes de disparo, las cuales son activadas al mismo tiempo y por separado una vez la ametralladora esta en posición y el operario ha dado la orden de disparar, con el fin de evitar accidentes en caso la ametralladora se dispare imprevistamente por cortocircuito o mala señal del cable si solo existiera uno.

¹⁴ Esta señal la envía el sistema en caso del operario desconecte el sistema porque va a utilizar el montaje de la ametralladora en forma manual, ya sea por deseo voluntario o por falla del sistema automático, en este caso los motores se desconectan y quedan en movimiento libre; además, el actuador mecánico que acciona el gatillo se bloquea en posición de "retraído".

¹⁵ Desapuntamiento significa que la mira del arma esta desfasada mas de 5 grados con respecto a donde debería estar apuntando. Hay alarma porque si se llega a disparar puede causar daños no deseados, por eso inhibe el disparo.

- β = Señal de ángulo de elevación del operador, la cual es medida por el encoder de elevación del montaje del operador.
- β' = Señal de ángulo de elevación del operador, la cual es medida por el encoder de elevación del montaje de la ametralladora.
- d = Es la señal de distancia, que es introducida manualmente por el operario en el teclado de la pantalla del sistema.
- c = Es la señal de distancia de separación horizontal, paralela a la línea de crujía de la unidad, la cual es introducida al sistema por medio de la consola de programación, que se convierte en una constante dentro del programa. Se hace una sola vez, cuando se termina de instalar los montajes en la unidad y nunca más cambia.
- y = Es la señal de distancia de separación vertical, la cual también es introducida al sistema por medio de la consola de programación, que se convierte en una constante dentro del programa. También se hace una sola vez, cuando se termina de instalar los montajes en la unidad y nunca más vuelve a cambiar.

Se observa que todas las señales necesarias - a excepción de "y" que es una constante-, con el nuevo programa, ya se encontraban con anterioridad en el sistema; además, ya se encuentran los sensores necesarios para medirlas, por lo tanto, no se necesita hardware extra para correr el nuevo programa.

10.2. HARDWARE ACTUAL DEL PROYECTO.

Hay muchos tipos de tecnologías para desarrollar un sistema de control como el del presente proyecto, pero se escogió la de los PLC¹⁶ (o

¹⁶ Es un procesador que viene instalado en un embalaje con algunas protecciones contra golpes, líquidos, saltos de voltaje o cortos circuitos, etc., para trabajo industrial, el cual viene listo para ser programado en lenguaje de escalera (ladder) o de más altos niveles con compiladores propios de cada empresa que los construye. Son muy usados en la industria en general por lo fácil de instalar, la variedad de sensores y actuadores con los que se puede acoplar y programar, son muy

computadores lógicos programables, llamados comúnmente así por sus siglas en inglés), porque se usa en muchos de los procesos de producción de todas las grandes industrias del país, con lo que han reducido costos, han incrementado su eficiencia y confiabilidad necesarias para mantener sus estándares de calidad.

Es una tecnología ya probada, que le quita trabajo al ingeniero en la automatización de procesos, mucho más fiable que si él mismo lo construyera. Sus ventajas son: Más rapidez, más económicos, reducen los cableados de conexión, minimizan el mantenimiento y facilitan cualquier modificación posterior a la instalación.

Hay muchas marcas especializadas en el diseño y producción de PLC's para el desarrollo de sistemas de control en procesos industriales, como son OMRON (Japón), Telemecanic (Francesa), Siemens (Alemana), Kronel Muller (Alemana), Warner Electric (USA), Superior Electric (USA), etc. Todas ellas cuentan con variedad de equipos y accesorios, diferenciados principalmente por la velocidad de procesamiento, número de entradas y salidas, capacidad de memoria, procesadores matemáticos trabajando en paralelo, interferencias, interrupciones, etc., fuera de las diferentes interfaces, fuentes de poder, tarjetas de potencia, actuadores, motores, etc. Luego de un estudio minucioso realizado en el primer proyecto se adquirió la tecnología OMRON por las condiciones presentadas por esta firma, el alto número de representantes en Colombia los cuales tienen sucursales en las principales ciudades, el excelente soporte técnico y la variedad de repuestos.

fiables y de gran precisión, sus repuestos se consiguen fácilmente. Los programas que puede ejecutar son muy variados, todo depende de la potencia con que se adquieran, pero básicamente son programas de ejecución repetitiva como los de la industria y en este caso la ametralladora.

Se adquirió el siguiente hardware:

- Un PLC CQM1- CPU43-E, cuyas características son:
 - ✓ Es modular lo que le da mucha flexibilidad.
 - ✓ Capacidad de memoria: 15,2 K.
 - ✓ Velocidad de procesamiento: 1,1 μ sec de tiempo de ejecución.
 - ✓ Capacidad de puertos: 512 entradas – salidas.
 - ✓ Capacidad de puerto de alta velocidad: 3 puertos RS 232.
- Una fuente de poder CQM1 – PD 026.
- Un módulo de 16 entradas digitales CQM1-ID212.
- Tres módulos de 8 entradas digitales CQM1 – ID211.
- Un módulo de 16 salidas digitales CQM1-OD 212.
- Una terminal programable (pantalla) NT2S-SF122B-E.
- Cuatro encoders absolutos BCD de 10 bits, dos para cada montaje.

11.4. Se envió el programa ya compilado al Departamento de Armas y

Las características del programa realizado son:

- ✓ Número de instrucciones: Hasta el momento no se han
- ✓ Extensión: Se están efectuando las pruebas de
- ✓ Subrutinas: Se estima un tiempo adicional de
- ✓ etc. para su realización, en polígonos especiales para

Como se puede observar, la CPU actual tiene la capacidad de memoria y velocidad de procesamiento necesarias para correr el programa sin ningún problema.

11.5. El proyecto es de gran interés para la Armada Nacional, la cual ya

De todo lo anterior se concluye que no es necesario adquirir hardware adicional para ejecutar el nuevo programa.

las interrogantes para visión nocturna y cámaras con especificaciones militares de distancia, ángulo y nitidez, para mayor precisión.

11.6. Proyectos militares similares ya se encuentran en el mercado, los

líneas más conocidas son LEICA, MAUSER o Military Systems

Group. No se conoce nada en absoluto la tecnología utilizada en

11. CONCLUSIONES.

- 11.1. Se pudo realizar el nuevo programa para corrección de paralaje en elevación y para cuando los montajes se encuentran por el costado de babor de la unidad, que no se encontraban listas.
- 11.2. Todas estas rutinas y subprogramas son compatibles con el programa hasta ahora realizado, no presentan problemas de concurrencia y se pudo compilar completamente.
- 11.3. No es necesaria la adquisición de nuevo hardware para poder correr el programa, el actual es más que suficiente.
- 11.4. Se envió el programa ya compilado al Departamento de Armas y Electrónica de BN1 para que la respuesta de salida del sistema completo pueda ser probada. Hasta el momento no se han reportado problemas. Se están efectuando las pruebas de comportamiento en Cartagena. Se estima un tiempo adicional de dos meses para su realización, en polígonos especiales para ametralladoras 0.50, munición necesaria y equipos de designador láserico para las medidas.
- 11.5. El proyecto es de gran interés para la Armada Nacional, la cual ya designó un presupuesto adicional de USD 250.000, para complementar el proyecto con rayos infrarrojos para visión nocturna y cámaras con especificaciones militares de distancia, ángulo y nitidez, para mayor precisión.
- 11.6. Proyectos militares similares ya se encuentran en el mercado, las firmas mas conocidas son LEICA, MAUSER o Military Systems Group. No se conoce nada en absoluto la tecnología utilizada en

12.1 estos desarrollos, ya que por ser desarrollos precisamente militares se vende el sistema completo, pero no la tecnología utilizada (si se adquiere, tendría altísimos costos), sin que se encuentre disponible en ningún medio de publicidad o comunicación. Pero de estas comparaciones fue que precisamente salió la viabilidad del proyecto, ya que con la tecnología utilizada, se llegó a los estándares de confiabilidad requeridos para un desarrollo militar, con reducidos costos (en el proyecto inicial se calculó que con un quinto del costo de adquirirlo en el exterior se ha desarrollado todo el prototipo actual). Y lo más importante, quedó un valiosísimo conocimiento (KNOW HOW) colombiano, de la Armada, que además de permitir cualquier clase de variación y/o reparación al sistema, permitirá en un futuro próximo el diseño de un sistema de armas navales integrado colombiano, necesario para la construcción de la tan anhela "Fragata Colombiana, FRAGACOL".

11.7. No se puede hacer comparaciones parciales con los sistemas de las firmas mencionadas en la conclusión anterior, lo que sí puede hacerse son comparaciones olísticas de los resultados finales de pruebas, estas medirán básicamente la velocidad de reacción del arma, la eficiencia en la puntería y el número de fallas en el tiempo.

12. RECOMENDACIONES.

12.1. Continuar con desarrollos posteriores del proyecto, de modo pueda realizarse diseños para disparo de armas a control remoto para aeronaves de ala fija o rotatoria, para defensa de bases terrestres, para disparo de armas de tiro parabólico, etc.

12.2. Apoyar con recursos de personal, tiempo y dinero proyectos de tecnología como el presente, ya que en Colombia y más específicamente en las Fuerzas Militares se cuenta con el Know How indispensable y principalmente con personas con el nivel de educación necesaria para su desarrollo. Solo hace falta creer en el personal.

13. BIBLIOGRAFÍA.

- Electrónica de Potencia, Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Ricardo Seidner. 1982.
- Programming Manual. OMRON. Sysmac CQM1. Cat No W228A-E3-. 1996.
- Microprocesadores, Programación e Interconexión. José María Uruñuela. Segunda Edición. Mc Graw Hill. 1989.
- Trigonometría para Ingenieros. Ricardo Estibel de la Hoz. Mc Graw Hill. Segunda Edición. 1992.
- Software de Programación SYSMAC CPT OMRON - V3.4. OMRON Company.

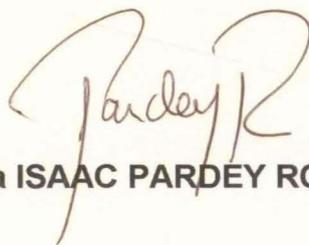


Isaac Pardey Rodríguez

14. GASTOS FINALES EJECUTADOS.

COSTO	ITEM	CARACTERISTICA	COSTO
Directos	Servicios personales	Aproximadamente 250 horas/hombre efectivas de trabajo con un costo \$ 7.500 por hora, equivalente a un Mayor	1.875.000
	Alquiler consola de Programación	Omron referencia CQM1-Pro01-E.	145.000
Indirectos	Papelería	2 resmas papel Bond carta de 75 gramos	22.000
	Internet	2 horas diarias por 20 días a 2000 pesos/ hora	80.000
	Computador	2 horas diarias por 1º días/ mes por 4 meses	80.000
	Disquetes y llamadas		50.000
		TOTAL: En pesos	2.252.000

Total: Dos millones doscientos cincuenta y dos mil pesos, pagados por el autor del presente trabajo.



Capitán de Corbeta ISAAC PARDEY RODRÍGUEZ

BIBLIOTECA CENTRAL DE LAS FF.MM.
"TOMAS RUEDA VARGAS"



201005779