

**Cadena propulsora de una embarcación gasolina-eléctrica  
de 8.5 kVA.**

# **MEMORIA**

**Autor: David Plaza Campos**

**Director: Ricard Bosch**

**Convocatòria: 2016-2017**

Barcelona, Octubre 2016

**Màster en Enginyeria de l'Energia**





## ABSTRACT

The current energy model makes us dependent on fossil fuels, and marine transport is an important part of this consumption.

In this project, two well developed technologies in the industries but not so well used in the marine field are presented. These are power generation and automation, which will be used to build a boat with a lower fuel consumption. And also, it will improve its control performance, with the possibility to be used in offshore wind turbines maintenance, among other activities.

On the one hand, it will be presented the reconstruction of the generation and propulsion electrical equipment, as the analyzed results of the electrical measurements of the installation. In order to show the advantages of the facility in comparison to others more conventional.

On the other hand, it's presented the design of an automation installation in order to improve the control performance of the boat. Including the choice of equipment and the necessary development of the softwares. And an introduction to the influential sensors that takes part in this automatization. Also the technical and economic viability of the facility as a business model.

## RESUMEN

El modelo energético actual nos hace dependientes de los combustibles fósiles, constituyendo el transporte marítimo una parte importante de dicho consumo.

En este proyecto, se emplean dos tecnologías bien desarrolladas en el mundo de la industria, pero poco desarrolladas en el mundo marítimo. Estas son la generación eléctrica y la automatización, las cuales serán extrapoladas para construir una embarcación con un menor consumo de combustible. Además de mejorar sus prestaciones a la hora de ser controlada, para lo que podría ser el mantenimiento offshore de generadores eólicos, entre otras actividades.

Por un lado, se realizará la reconstrucción de un equipo de generación y propulsión eléctrica para una embarcación. De la cual se analizarán los resultados obtenidos de las mediciones efectuadas y se mostrarán las ventajas de dicha instalación frente a las de propulsión mediante motor térmico.

Por otro lado, se diseñará un equipo de automatización que mejorará las prestaciones de control de la embarcación. Incluyendo la elección de los equipos y el desarrollo de los software necesarios. Así como una introducción a los sensores influyentes en dicha automatización. Como también la viabilidad técnica y económica de dicha instalación como modelo de negocio.

## RESUM

El model energètic actual ens fa dependents dels combustibles fòssils, constituint el transport marítim una part important d'aquest consum.

En aquest projecte, es fan servir dos tecnologies ben desenvolupades en el món de la indústria, però poc desenvolupades en el món marítim. Aquestes són la generació elèctrica i l'automatització, les quals seran extrapolades per construir una embarcació amb un menor consum de combustible. A més de millorar les seves prestacions a l'hora de ser controlada, per al que podria ser el manteniment offshore de generadors eòlics, entre altres activitats.

D'una banda, es realitza la reconstrucció d'un equip de generació i propulsió elèctrica per una embarcació. De la qual s'analitzaran els resultats obtinguts dels mesuraments efectuats i es mostraran els avantatges d'aquesta instal·lació enfront de les que utilitzen propulsió mitjançant motor tèrmic.

D'altra banda, es dissenya un equip d'automatització que millora les prestacions de control de l'embarcació. Inclouent l'elecció dels equips i el desenvolupament dels softwares necessaris. Així com una introducció als sensors

influent en aquesta automatització. Com també la viabilitat tècnica i econòmica de dita instal·lació com a model de negoci.

## AGRADECIMIENTOS

*Me enorgullece poder agradecer a mi director del proyecto Ricar Bosch, por las horas invertidas para la elaboración y la inestimable ayuda para la elaboración y desarrollo del presente documento.*

*Así mismo, quiero agradecer el apoyo brindado por mi familia y mis amigos, ya que sin la ayuda de todos, la mediocridad sería una meta inalcanzable*

*Por último y no por ello menos importante a los profesores de la “Universitat Politècnica de Catalunya”, por las oportunidades que me han brindado y los conocimientos que he adquirido en el “Màster en Enginyeria de l’Energia”.*



# INDICE DE LA MEMORIA







# MEMORIA

1	Objeto del proyecto. ....	19
1.1	Introducción. ....	19
1.2	Motivación del proyecto. ....	20
1.3	Objetivos del proyecto. ....	20
1.4	Objeto de estudio. ....	21
1.5	Presentación del equipo. ....	21
2	Descripción general. ....	24
2.1	Motores eléctricos y de combustión. ....	24
2.2	Motivos de un grupo electrógeno. ....	27
2.3	Análisis de la instalación. ....	27
3	Reconstrucción de la instalación. ....	33
3.1	Puesta a punto y reconfiguración. ....	33
3.2	Complicaciones. ....	36
4	Autómata programable. ....	37
4.1	Ventajas. ....	37
4.2	Funcionamiento y conexionado eléctrico. ....	38
4.2.1	Entradas. ....	38
4.2.2	Salidas. ....	38
4.3	Automatización de la embarcación. ....	39
4.3.1	Inclusión. ....	39
4.3.2	Componentes. ....	40
4.3.3	Autómata gama SIMATIC S-1200 ....	40
4.3.4	Componentes S7-1200 ....	41
4.4	Elección de CPU. ....	43
4.5	Consideraciones en el montaje/conexionado eléctrico. ....	44
4.6	Elección en la transmisión de señales. ....	44
5	HMI. ....	46
5.1	Presentación de la interfaz gráfica. ....	46
5.2	Pantallas de la HMI. ....	46
5.3	Entradas y salidas del S7 1212C ....	52
6	Arduino. ....	55
6.1	Automatización con "Arduino". ....	55

6.2	Clon chino “Arduino” .....	55
6.3	Control de propulsores mediante electores potenciómetros.....	56
6.4	Control de propulsores mediante Joystick.....	56
6.5	Ciaboga.....	58
6.5.1	Concepto de “ciaboga” .....	58
6.5.2	Control de ciaboga .....	59
6.5.3	Otras aplicaciones de “Arduino” .....	61
6.5.3.1	Medición de intensidades.....	61
6.5.3.2	Giroscopio y acelerómetro.....	62
6.5.3.3	Medición de temperatura.....	62
7	Lógica programada.....	63
7.1	Prestaciones a la hora de automatizarla.....	63
7.2	Lógica programada (Step 7). .....	63
7.2.1	Uso de bloques.....	63
7.2.2	(FB1) Control de variables.....	64
7.2.2.1	Luces.....	64
7.2.2.2	Control por contactor o variador de frecuencia.....	64
7.2.2.3	Activar alimentación motor lineal.....	65
7.2.2.4	Dirección de la embarcación.....	66
7.2.2.5	Velocidad del viento en m/s. ....	66
7.2.2.6	Escalado de la variable “velocidad del viento”. ....	67
7.2.2.7	"Escalado vel viento"DB1.....	71
7.2.2.8	Dirección del viento. ....	72
7.2.2.9	Alarma de fallo.....	72
7.2.2.10	Fallo aislamiento .....	74
7.2.2.11	Freno competición .....	74
7.2.2.12	Control de propulsión .....	76
7.2.2.13	Encendido de la instalación .....	76
7.2.2.14	Paro de emergencia.....	77
7.3	(FB4) Marcas-Act salidas .....	78
7.4	(OB1) Main. ....	79
7.5	Comunicar el equipo. ....	80
7.6	Red interna.....	82
7.6.1	Modulo cliente SCALANCE W720 .....	82

7.6.2	Otras opciones.....	83
7.7	Antena .....	84
7.8	Equipos requeridos .....	85
8	Impacto ambiental .....	90
9	Presupuesto .....	91
9.1	Estudio de Viabilidad.....	91
9.1.1	Viabilidad técnica. ....	91
9.1.2	Viabilidad económica .....	92
9.1.2.1	Costes.....	92
9.1.2.2	Beneficios.....	96
9.1.2.3	Amortización.....	96
10	Conclusión.....	99
11	Bibliografía. ....	100



# INDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS





## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Esquema de la instalación de la lancha Ras .....	22
Ilustración 2 Curva de isoconsumo de un motor de combustión. ....	25
Ilustración 3 Estado de trabajo de un motor de combustión I .....	25
Ilustración 4 Estado de trabajo de un motor de combustión II .....	26
Ilustración 5 Estado de trabajo de un motor de combustión III .....	26
Ilustración 6 Corriente al arranque de los propulsores mediante contactores. ....	29
Ilustración 7 Potencia activa en el arranque de los propulsores mediante contactores. ....	29
Ilustración 8 Corrientes en régimen permanente .....	30
Ilustración 9 Potencias activas en régimen permanente .....	30
Ilustración 10 Panel de control de la embarcación, con los variadores de frecuencia, etc... 35	
Ilustración 11 Grupo electrógeno utilizado .....	35
Ilustración 12 Casco de la embarcación RAS.....	36
Ilustración 13 CPU de la gama Simatic .....	42
Ilustración 14 Esquema de organización de las pantallas de la HMI diseñada.....	47
Ilustración 15 Pantalla de cabecera “Control de la lancha Ras” .....	47
Ilustración 16 Pantalla” Panel embarcación” .....	47
Ilustración 17 Estado grupo electrógeno. ....	48
Ilustración 18 Alarmas del grupo electrógeno.....	49
Ilustración 19 Pantalla “Propulsores” con giro a izquierdas. ....	49
Ilustración 20 Pantalla propulsores con giro a derechas. ....	50
Ilustración 21 Pantalla ”Modo competición” .....	50
Ilustración 22 Pantalla “Estado del mar” y sus avisos.....	51
Ilustración 23 Pantalla de “Alarmas” .....	51
Ilustración 24 Esquema de conexionado .....	57
Ilustración 25 La variable “giro competición” mostrada a través de la HMI. ....	59
Ilustración 26 Esquema de conexionado .....	60
Ilustración 27 Imagen del BD para el escalado de la velocidad del viento. ....	72
Ilustración 28 Comunicación de red mediante túnel VPN. ....	81
Ilustración 29 Configuración de una red mediante diversos módulos ET 200 SP.....	84
Ilustración 30 Antena ANT795-4MA de Siemens.....	85
Ilustración 31 Cable de expansión .....	87
Ilustración 32 Instalación de módulos mediante el Tia Portal.....	88
Ilustración 33 Modulo de comunicación 6ES7 241-1CH30-0XB0, RS-485 (comunicación punto a punto). ....	89
Ilustración 34 Tabla del VAN para un periodo de 5 años.....	98

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tabla de valores obtenidos del alternador con las hélices a una profundidad de 3 cm del agua y arranque de propulsores mediante variador de frecuencia.....	31
Tabla 2 Tabla con CPUs de la gama S7-1200.....	41
Tabla 3 Características técnicas de la CPU escogida para esta instalación, la 1212C AC/DC/relé. ....	43
Tabla 4 Algunos de los avisos incluidos en la pantalla de “Alarmas” .....	52
Tabla 5 Tabla de requisitos para el control de la ciaboga.....	59
Tabla 6 Botones a presionar y sentido de giro de la ciaboga.....	60
Tabla 7 Características de los módulos de ampliación a instalar.....	87
Tabla 8 Número de entradas/salidas requeridas, instaladas y utilizables para futuras instalaciones.....	88
Tabla 9. Emisión de gases contaminantes .....	90
Tabla 10 Equipos requeridos para la propulsión eléctrica de la embarcación. ....	94
Tabla 11 Tabla del coste de la ingeniería .....	95
Tabla 12 Tabla del coste de la mano de obra. ....	95
Tabla 13 Tabla de otros costes como el alquiler del taller o la adquisición de herramientas. ....	95



# MEMORIA





# 1 Objeto del proyecto.

## 1.1 Introducción.

Ya se ha demostrado a lo largo de la historia, que la civilización se ha desarrollado en estos últimos siglos a un ritmo vertiginoso. Esto se ha logrado con la implantación de mejoras, las cuales eran desarrolladas y aplicadas en un campo determinado, pero con el tiempo, estas se van extendiendo y adaptando a otros posibles campos y aplicaciones, los cuales se benefician de las ventajas que dichas mejoras proporcionan.

En este caso, la mejora que concebimos es la propulsión eléctrica, la cual está siendo desarrollada en vehículos terrestres entre otros campos, pero todavía le falta mucho por madurar en lo que respecta a vehículos náuticos.

Además, en el mundo de las embarcaciones se presentan ventajas adicionales respecto al transporte terrestre, aspecto que deberíamos aprovechar. Adicionalmente, la dependencia que el ser humano tiene hacia los combustibles fósiles, nos traerá grandes consecuencias en un futuro próximo si no actuamos adecuadamente. Por lo que, el desarrollo de equipos con un menor consumo de combustible fósil y una mayor eficiencia, podría ser ventajoso tanto económicamente como medioambientalmente.

Otra mejora que podría concebirse en el transporte marítimo es la automatización en sus instalaciones. Las industrias llevan años desarrollando este campo para mejorar su producción y ahorrar costes, pero en las embarcaciones no se ve dicha tecnología, a pesar de que podría resultar muy ventajosa a la hora de transportar mercancías, ayudar en labores de salvamento o vigilancia, entre otras actividades. Ya que la historia también ha demostrado que el progreso y la automatización están cogidos de la mano.

Por estos motivos, en dicho proyecto se presenta una instalación la cual recopila 2 tecnologías todavía no desarrolladas profundamente en el mundo de la náutica. Presentándose estas de una forma experimental pero real, ya que se intenta lograr un producto listo en cuanto a diseño e instalación, para su implantación en otras embarcaciones o que sirva como base para un mayor desarrollo de sus posibilidades. Abarcando la automatización de una embarcación de propulsión eléctrica y el estudio energético de esta.

Siendo el carácter de este proyecto, mostrar las posibilidades que una embarcación eléctrica automatizada presenta, y las ventajas que esta supone respecto a otras más clásicas.

## 1.2 Motivación del proyecto.

Se puede decir que son cinco las principales motivaciones para emprender este proyecto final de máster.

Por un lado, se quiere realizar un proyecto que sirva para mostrar las posibilidades de las embarcaciones eléctricas automatizadas, siendo este un proyecto de desarrollo innovador al mismo tiempo que real. Sirviendo como base para un mayor desarrollo en las automatizaciones de la industria náutica, mostrando las posibilidades que se presentan con estas inversiones.

Por otro lado, se pretende realizar un proyecto constructivo a la vez que experimental, que permita recopilar conocimientos aprendidos en el máster, al mismo tiempo que se pretende ampliar conocimientos en diversos campos como pueden ser las comunicaciones o la automatización de procesos.

Además, con la información presentada se pretende aportar un granito de arena a la sostenibilidad del medio ambiente, ya que investiga formas de obtener una mejor eficiencia y prestaciones de las embarcaciones. Al mismo tiempo que se busca el lado provechoso a la vez que ventajoso en cuanto a otros equipos náuticos.

Por último, se pretende finalizar el máster de ingeniería de la energía, obteniendo la especialidad de instalaciones eléctricas.

## 1.3 Objetivos del proyecto.

Partiendo del trabajo realizado por otros estudiantes, los objetivos de este proyecto serán los siguientes:

- Evaluación experimental de la cadena energética instalada en la lancha RAS, así como mejorar mecánicamente y eléctricamente la instalación que se presentó en un inicio.
- Continuación de la viabilidad de la propulsión eléctrica en embarcaciones, presentando algunas de las posibles ventajas que esto supone.
- El diseño de la automatización completa de la embarcación. Desde la HMI, pasando por el PLC usado y el diseño del programa volcado en el PLC, hasta llegar a la instrumentación requerida para la comunicación entre equipos.
- Presentación de variables necesarias para dicha automatización, así como mostrar su obtención mediante sensores. Introduciendo a los sensores requeridos, programándolos e instalándolos.

- Mejorar la navegación de la embarcación, además del estudio económico y medioambiental de esta.

## 1.4 Objeto de estudio.

El objeto de estudio para este proyecto de máster, es el desarrollo de las prestaciones y posibilidades que una embarcación por propulsión eléctrica híbrida permite. Usando como modelo para el desarrollo la lancha Ras que los estudiantes Albert Peregrina y Carles Bou dejaron por su paso en esta facultad.

Albert Peregrina presento la construcción de dicha embarcación ,así como parte de su desarrollo. En cuanto a Carles Bou, este presento un estudio eléctrico experimental de la cadena energética de dicha instalación. Esto ha permitido desarrollar la instalación a otro nivel.

Cabe remarcar que el estudio realizado por Carles Bou, se realizó en gran medida a una embarcación con algunas características diferentes, entre ellas se encontraba la instalación de un compensador síncrono.

## 1.5 Presentación del equipo.

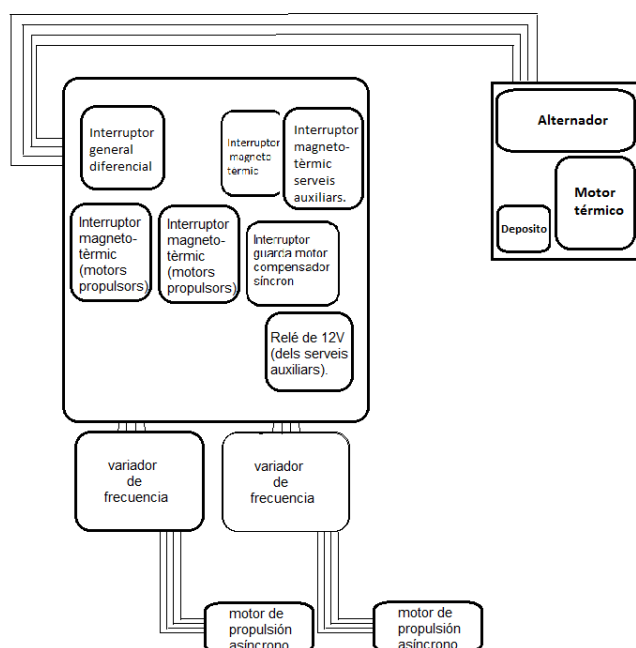
Esta instalación ha sido un relevo de proyectos de diferentes estudiantes a lo largo de los años, partiendo desde la construcción del casco de la embarcación, hasta llegar a una embarcación con propulsión híbrida, con la instalación de los equipos eléctricos y mecánicos correspondientes.

Dado que en este proyecto no se quiere repetir información ya expuesta en otros trabajos, en este apartado se expondrá el equipo que fue encontrado en un primer momento, para que sirva de base a la hora de entender las mejoras aquí expuestas. Haciendo dicho apartado de punto de partida para este proyecto, sin exponer datos o hacer hincapié en resultados obtenidos por otros estudiantes.

Aquí se expone una instalación para la propulsión híbrida, ya que como comento Carles Bou en su proyecto, “un motor térmico genera energía y los motores eléctricos se encargan de la propulsión”.

Esta ha sido configurada en serie, ya que la energía producida por el motor de combustión es transformada en energía eléctrica, siendo la propulsión realizada únicamente mediante dicha energía eléctrica. En este proyecto, también se usara dicha energía eléctrica para automatizar la instalación.

El equipo de la embarcación se presenta con el siguiente esquema:



*Ilustración 1 Esquema de la instalación de la lancha Ras*

Siendo las características técnicas de los componentes presentados las siguientes:

- El grupo electrógeno dispone de un motor térmico Honda GX270 de 9CV, aproximadamente 6.6 KW, girando este a una velocidad de 3000 rpm en funcionamiento nominal. La máxima potencia útil que se puede extraer del eje es de 7,5 CV, proporcionando al alternador una potencia útil de aproximadamente 5,7 Kw.
- Se dispone de un alternador trifásico Tekel, con una potencia nominal sobredimensionada respecto a la potencia nominal del motor térmico, siendo esta de 8.5 KVA. Este será de dos polos, con una frecuencia en régimen nominal de 50 Hz.
- Dos motores de propulsión asíncronos trifásicos de 2.2 KW cada uno, proporcionando una potencia de propulsión nominal total de 4.4 KW.
- Dos variadores de frecuencia modelo Altivar 31, con opción de inversión de giro.

En cuanto a las protecciones, tenemos las siguientes:

- Interruptor general diferencial *Merlin Gerin* model ID IP40 de 40A de corriente nominal y 300mA de corriente de fuga.
- Interruptor magneto térmico *Merlin Gerin* model C32N ICP-M de 5ª, este se utilizaba para proteger el compensador síncrono.
- Interruptor magneto térmico *Merlin Gerin* model C32a ICP-M de 10A, para la protección de servicios auxiliares.
- 2 Interruptores magneto térmicos *Merlin Gerin* model D10 para proteger los propulsores.

- Interruptor guarda motor *Merlin Gerin* model P25M de 16A para proteger el compensador síncrono.
- Relé de 12V para los servicios auxiliares.

Algunas particularidades a tener en cuenta son las siguientes:

- Los expertos aconsejan que la potencia aparente del alternador sea como mínimo tres veces la potencia activa nominal del equipo, para que este permita picos de arranque y pueda aprovechar la potencia del eje ofrecida por el motor de combustión.

Esto se debe a que la potencia aparente está compuesta del fasor activa y reactiva, por lo que si el alternador no estuviera sobredimensionado, no se podría aprovechar el 100% de la potencia activa que nos da el motor térmico, además del tema de los picos de Intensidad de arranque.

- El alternador ofrece al motor que lo arrastra un par resistente, siendo este proporcional a la potencia.  $P = W_S * r_{resistente} = 3 * U_{fn} * I$

Esto significa que si la potencia eléctrica consumida por la embarcación varia, también variara el par de resistencia que el alternador ofrece al motor térmico. Esta variación del par resistente ofrecido al motor térmico es compensada por el motor con la variación de aporte de gasolina, en nuestro caso, mediante el carburador. Pulverizando más o menos cantidad de gasolina por  $m^3$  de aire.

Pero esta regulación por parte del motor térmico no es instantánea, por lo que se produce una caída de su carga, el motor térmico se embalara por desigualdad en su par ofrecido. Aumentando la velocidad de giro del alternador y produciendo una tensión con mayor frecuencia.

Lo opuesto ocurre si se produce un aumento en la carga que soporta el alternador.

A la relación de la variación de frecuencia/carga se le conoce como rigidez del sistema, en nuestro caso será poco rígido (159 W/Hz) en comparación con la red eléctrica.

- El compensador asíncrono estudiado en otros proyectos no se encuentra en la instalación debido a no presentar las prestaciones esperadas.
  - Aunque en este proyecto no se conciben baterías para suministrar energía, podrían darse para otros casos. Los motivos son comentados más adelante.

## 2 Descripción general.

### 2.1 Motores eléctricos y de combustión.

Las ventajas en cuanto a una embarcación híbrida son de diversa índole, como por ejemplo, la reducción del consumo de fuel, menor necesidad de mantenimiento en situaciones de mucha variación de carga, uso de motores diesel de velocidades media/alta, flexibilidad en la localización de los propulsores, etc.

Siendo las ventajas económicas las que más nos interesan, por lo que en este apartado se expondrán algunas de las características relacionadas con el consumo de fuel y la eficiencia.

Un motor térmico trabaja bien para un rango de par y velocidad establecido, fuera de este punto de trabajo, el consumo se dispara y la eficiencia baja. Para aplicaciones en las que el par será constante, así como la velocidad de giro del motor, estos son ideales.

El problema de las embarcaciones es que el estado del mar suele presentar oleaje, y este, por su naturaleza, frena o acelera la embarcación cada vez que una ola impacta en el casco, con lo que el punto de trabajo del motor térmico no será constante.

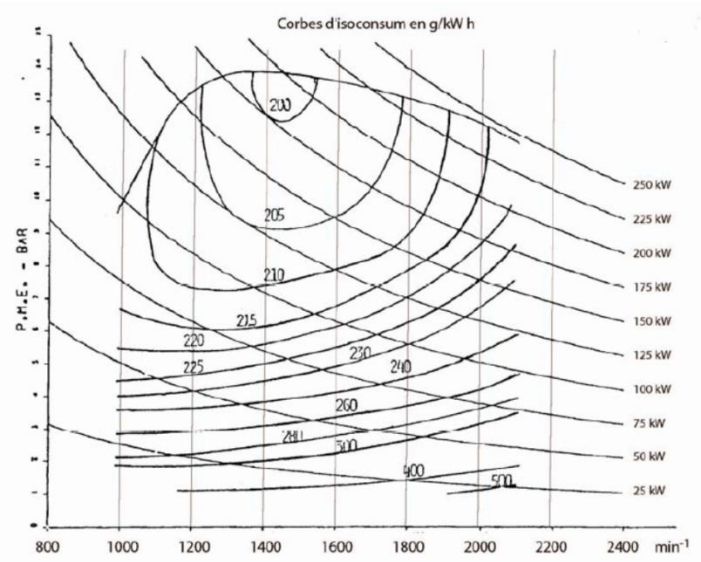
Como se observa en la gráfica de isocronismo, el punto de mayor eficiencia para ese motor de combustión en concreto, se dará a una velocidad de  $1420\text{min}^{-1}$  y a una potencia de 200 KW, momento en el que se tendrá un consumo de combustible de 200 g/KWh.

El problema viene en que ese punto no será estable en el mar, dado que el par está en función de la presión media efectiva, haciendo este concepto referencia a la calidad de combustión que se da en el motor. A mayor presión media efectiva se obtendrá mayor par del motor. Cada ola que choque en la embarcación, reducirá la velocidad de esta, con lo cual, el par de propulsión requerido se incrementará. Haciendo que el consumo se dispare con cada incremento de par producido por las olas.

Como se aprecia en la gráfica de isoconsumo de potencias y presiones medias efectivas, con pequeñas variaciones en la velocidad, par o potencia proporcionada, el consumo de combustible varía bruscamente.

Por ejemplo, para determinar el consumo de combustible a la hora de hacer un trayecto, se usaría las siguientes formulas.





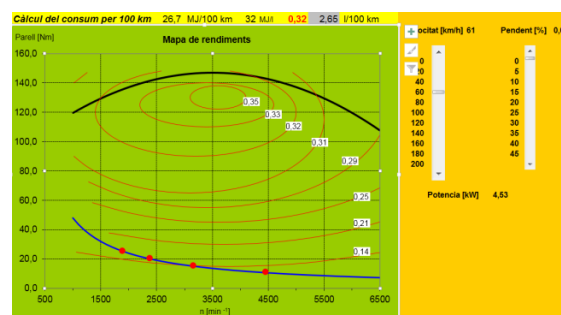
Il·lustració 2 Curva de isoconsumo de un motor de combustión.

Por otro lado, estas curvas son características de cada motor de combustión, por lo que debería diseñarse un motor para cada condición que presente el mar. Pero esto no sería viable en una embarcación.

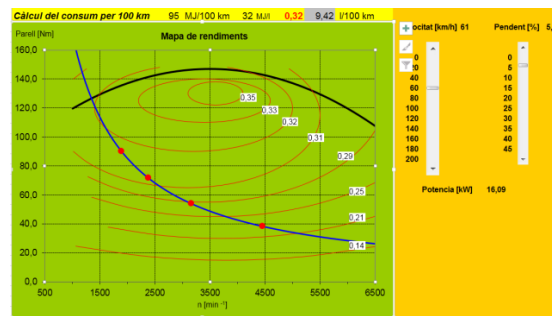
Es por eso que en las centrales eléctricas con motores de combustión, estos se agrupan, y funcionan unos u otros, dependiendo de la demanda de consumo.

A continuación se muestra el mismo motor trabajando a diferentes condiciones, como velocidad, rendimiento o pendiente, que se traduce en aumento de par requerido.

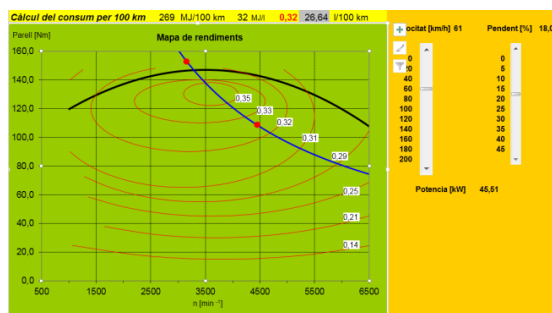
Cuando la velocidad excede de un punto o decrece, la eficiencia baja, igual pasa con el par. Por otro lado, cabe destacar que el rendimiento máximo no implica eficiencia máxima, esto solo indica que se obtiene las máximas prestaciones del motor, pero al coste de sacrificar la eficiencia.



Il·lustració 3 Estado de trabajo de un motor de combustión I



Il·lustració 4 Estado de trabajo de un motor de combustión II



Il·lustració 5 Estado de trabajo de un motor de combustión III

Como se ha visto, el rendimiento de un motor de explosión varía fuertemente con las variaciones de carga, y por tanto, su consumo. En cambio al instalarlo en un sistema eléctrico diesel, trabajará siempre a velocidad constante, ahorrando de esta manera combustible, dado que los picos de par serán proporcionados por el alternador, actuando este como lo haría un acumulador cinético en mecánica, solo que la energía sería la inductiva acumulada en los polos del alternador.

De esta manera, el alternador proporcionará picos de intensidad a los propulsores cuando se requieran pares mayores, que es cuando se da el choque de la ola. Manteniendo la frecuencia en la alimentación de los motores eléctricos y evitando que se produzcan caídas severas en la tensión, pero sin variar de forma excesiva el punto de funcionamiento del motor térmico.

## 2.2 Motivos de un grupo electrógeno

El grupo electrógeno genera intensidades del orden de unas seis veces superior a la nominal cuando se arrancan los motores propulsores, pero esto ocurre a costa de una bajada de tensión que deberá controlarse.

Dicha subida de intensidad es usada para la creación del campo magnético en las bobinas de los propulsores, produciéndose mediante inducción. Además, se producen mejores arranques en los motores eléctricos con factores de potencia bajos, es decir, poco eficientes. Ya que estos necesitan de potencias reactivas para crear los correspondientes campos magnéticos.

Las baterías como fuente de alimentación:

El grupo electrógeno tiene una Icc limitada a diferencia de la red eléctrica, la cual se puede considerar con potencia de cortocircuito infinita. Pero las baterías tienen una Icc muy limitada, esto indica que son útiles para aplicaciones en las que el consumo de I es constante y no se llega a alcanzar consumos de intensidades superiores al valor nominal. El problema se presenta cuando se quieren usar para proporcionar picos o subidas de Intensidades por encima de la nominal. Ya que en estas condiciones se descargarían en tiempos excesivamente breves, sin contar con el hecho de producirse bajadas de tensión exageradas en el momento de producir los picos de I, debido a la limitación de la Icc que estas presentan.

Por este motivo, dependiendo el tipo de aplicación y el tipo de embarcación, se podrían plantear diferentes configuraciones. Pero estas incrementan el coste de la embarcación, su peso y se duda de su uso en una embarcación a no ser que esta sea fotovoltaica por ejemplo.

Aunque estas sí que se podrían usar para la alimentación del equipo de automatización que veremos en este proyecto. Debido a que el grupo electrógeno está funcionando continuamente, este el alternador con carga o en vacío.

Haciéndose imposible arrancar el grupo electrógeno si la embarcación no está pilotada y está dentro del mar. En cambio, una batería podría alimentar el equipo de comunicación entre el operario y el PLC de la embarcación y arrancar el grupo mediante automatismos cuando se considere oportuno. Ahorrando de esta manera combustible.

## 2.3 Análisis de la instalación

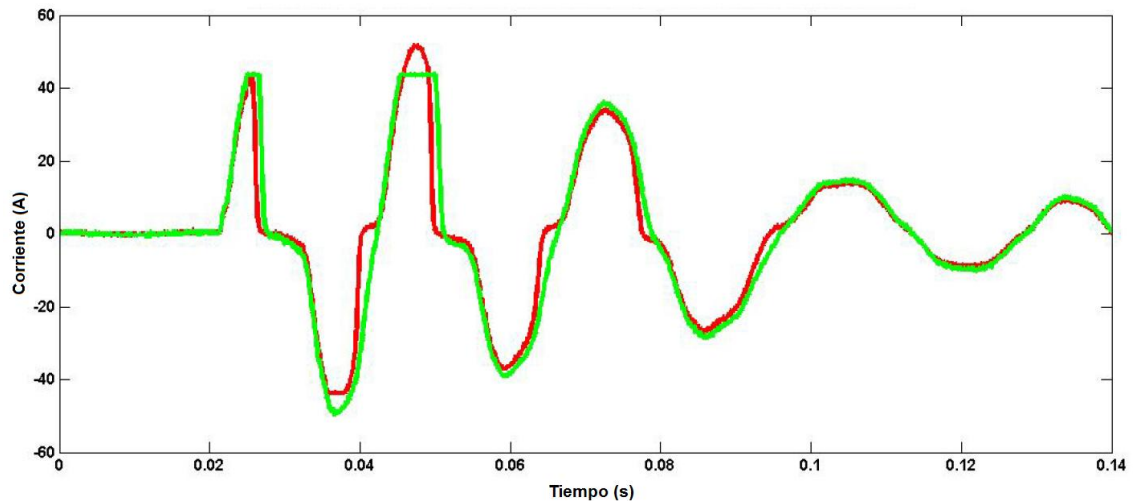
Como se aprecia en la siguiente imagen, en régimen transitorio mediante arranque por contactores y con las hélices sumergidas a una profundidad de 3 centímetros. Los propulsores eléctricos requieren de un pico de corriente para crear el campo magnético en los rotores, y así vencer el par resistente que ofrece el agua y el propio motor, para pasar la hélice de posición estática hasta llegar estas a su régimen permanente de giro.

Como se observa, el primer pico de intensidad demandado por los propulsores mediante arranque por contactores supera los 41 A, mientras que en régimen permanente veremos que estos no demandan más de 14 A. Por lo que el alternador está proporcionando puntualmente una intensidad 3 veces superior a la nominal para el arranque de los propulsores. Dándose este fenómeno, tal y como se ha comentado anteriormente, dado que el alternador podría compararse como símil a un acumulador cinético

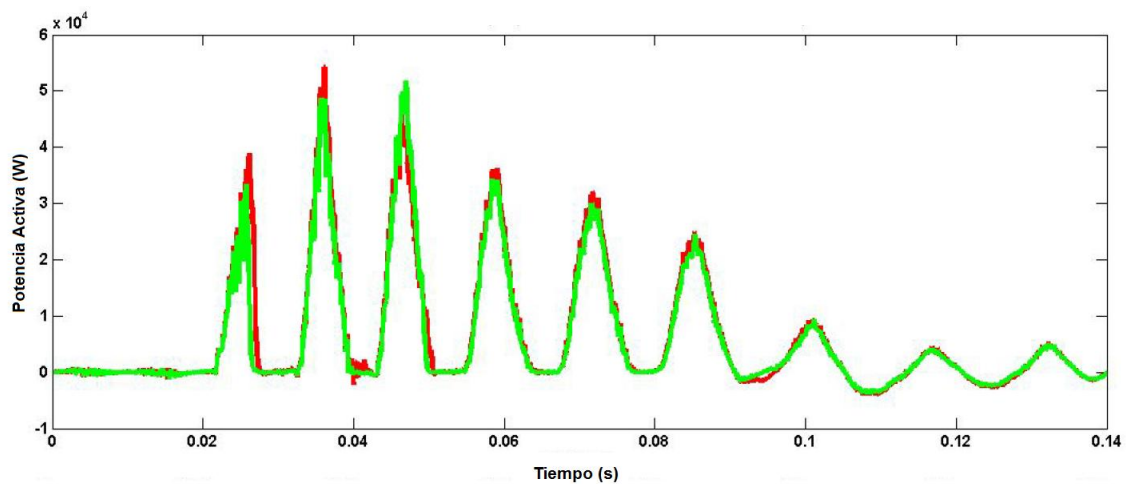
Además, como se aprecia en la gráfica, los valores de intensidad proporcionados por el alternador y consumidos por los propulsores van variando unos respecto a los otros, siendo en ocasiones más grande la intensidad consumida por los propulsores y viceversa. Esto se debe a errores en la medición, pero también a pérdidas de energía y a la acumulación de esta en forma de campos magnéticos.

En un par de ciclos vemos como la demanda de corriente y de potencia por parte de los propulsores comienza a disminuir, por lo que también lo hace las señales procedentes del alternador. Hasta finalmente establecerse como una demanda constante, pudiendo asociar las intensidades y potencias al régimen permanente.

En cuanto a la forma de trabajar que presenta el equipo, esta será comentada en otro apartado. Pero básicamente, la demanda de picos de corriente hará bajar la tensión en el alternador por un aumento del par resistente en este, lo que ocasionara una caída de frecuencia en su giro. Si la demanda de corriente está dentro de lo establecido por el alternador, este recuperara su régimen estable como se aprecia en las imágenes. El problema se presenta si el par resistente de las hélices es mayor de lo esperado. Ya que ocasionaría una demanda mayor de intensidad y durante más periodos de tiempo, ocasionando una bajada de frecuencia en el alternador de la cual este no podría recuperarse por diferencia entre el par resistente ofrecido por el motor térmico y el demandado.



*Ilustración 6 Corriente al arranque de los propulsores mediante contactores.*



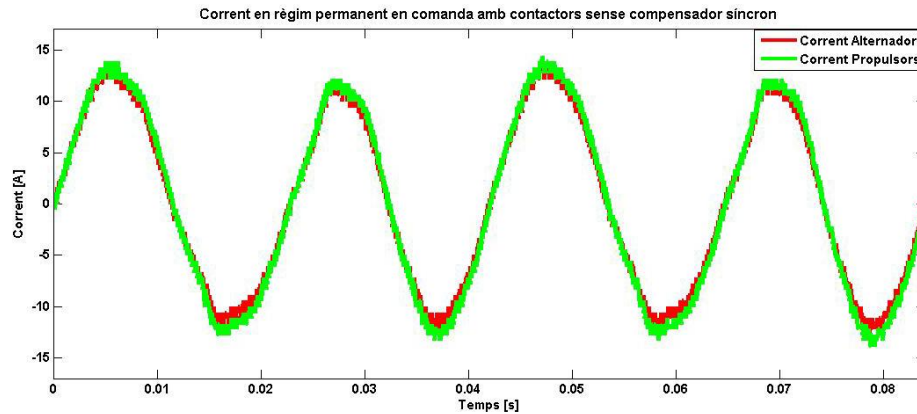
*Ilustración 7 Potencia activa en el arranque de los propulsores mediante contactores.*

En régimen permanente, la corriente demandada por los propulsores se establece en unos 14 A, siendo constante durante todos los ciclos.

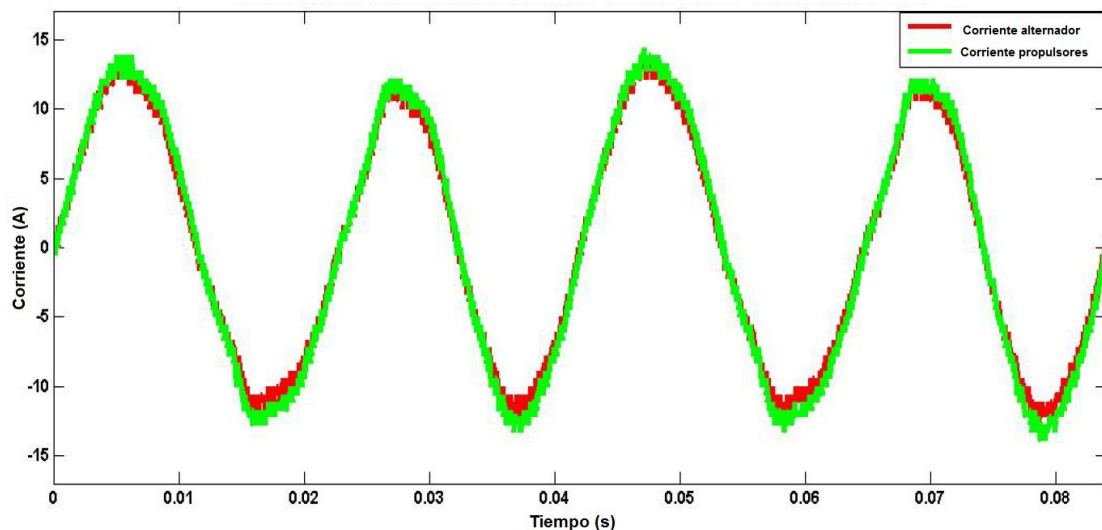
Claro está, que estos datos son tomados sin variar las condiciones de par requeridas por los propulsores (Régimen permanente). Pero si se ha desarrollado este proyecto, es precisamente por las variaciones de par que se demanda en la propulsión de embarcaciones en el mar.

De nada sirve dotar a una embarcación de unas prestaciones si luego estas no se requieren. Por lo que podemos decir que la embarcación propulsada eléctricamente no trabajara en régimen constante. El oleaje, corrientes y vientos se encargaran de ello, y será en estas situaciones cuando las prestaciones de esta embarcación predominaran sobre otras más convencionales, como las propulsadas mediante motor térmico. Ya que será cuando la disminución de combustible requerido por la embarcación eléctrica abaratará los costes del equipamiento eléctrico y su diseño. Siendo esta, más eficiente respecto a otras.

De todas formas, a continuación presentamos las gráficas, sabiendo que los valores obtenidos del funcionamiento real de la instalación en el mar, variaran respecto a los presentados.



*Il·lustració 8 Corrientes en régimen permanente*



*Il·lustració 9 Potencias activas en régimen permanente*

Como se observa, los valores proporcionados por el alternado, potencia activa, intensidad u otros, son prácticamente los demandados por los propulsores. Por lo que se puede afirmar que existe concordancia en los datos presentados.

Pero existen pequeñas variaciones en los datos, estas podrían ser causadas por armónicos, pero sin un análisis más profundo no se puede concretar qué proporción de corriente es de componente directa, inversa y homopolar.

Por otro lado, como demostró Carles Bou con los datos obtenidos para diferentes profundidades de las hélices, a medida que el par resistente de los propulsores aumenta, estos requieren una potencia mayor, traducándose esto en un consumo de intensidad mayor. Dando como consecuencia como ya se comentó con anterioridad una caída de tensión, significando esto una reducción en la frecuencia de giro, es decir, el motor térmico reducirá su velocidad de giro para proporcionar un equilibrio de potencias entre la demandada y la proporcionada.

A continuación comentaremos los datos más relevantes del funcionamiento de la embarcación mediante arranque por variador de frecuencia.

*Tabla 1 Tabla de valores obtenidos del alternador con las hélices a una profundidad de 3 cm del agua y arranque de propulsores mediante variador de frecuencia.*

Frecuencia propulsores	Tensión (V)	Corriente (I)	Potencia Activa (W)	Potencia Reactiva (Var)	Potencia Aparente (VA)	fi	cos(fi)	sin(fi)
0	231.10	0.29	170.50	17.05	171.39	5.7	0.995	0.099
5	231.10	0.65	513.48	210.75	555.00	22.3	0.925	0.380
10	226.91	0.88	712.05	256.32	756.70	19.8	0.941	0.339
15	232.11	1.03	850.67	306.23	903.97	19.8	0.941	0.339
20	232.24	1.42	1174.30	607.70	1322.50	27.4	0.888	0.460
25	235.23	1.92	1648.60	629.00	1764.40	20.9	0.934	0.356
30	237.95	2.40	2102.00	839.60	2263.40	21.8	0.929	0.371
35	240.55	3.30	2936.80	1205.70	3174.30	22.3	0.925	0.380
40	242.77	4.29	3833.30	1366.30	4069.60	19.6	0.942	0.336
45	205.41	6.92	5039.80	2143.10	5475.20	23.0	0.920	0.391

Como se observa, la tensión fase-neutro aumenta ligeramente con el aumento de la frecuencia de giro de los propulsores, hasta llegado un punto, en el cual se observa una caída brusca de la tensión antes de llegar a los 40 Hz.

Este es un fenómeno que se observa en el alternador, pero realmente viene ocasionado por la poca potencia del motor térmico. Es en este punto donde el par resistente que soporta el motor térmico supera al par que este puede proporcionar, por lo que se desestabiliza el sistema. La solución sería cambiar dicho motor térmico por uno de mayores prestaciones, el cual este diseñado para trabajar con mayores potencias.

Por otro lado, como es obvio, la corriente de la fase dos aumenta a medida que la frecuencia de los propulsores aumenta. Al igual que lo hace la potencia activa, reactiva i aparente. Siendo la potencia activa la que experimenta un mayor aumento con el aumento de la frecuencia de giro de los motores, y la reactiva la que menos aumento experimenta como es



de esperar, siendo incrementos constantes debido a que el factor de potencia se mantiene más o menos constante.



## 3 Reconstrucción de la instalación.

### 3.1 Puesta a punto y reconfiguración.

Cuando se comenzó este proyecto, en Febrero, una de las primeras cosas que se hizo fue comentar que mejoras se podían hacer a dicha embarcación para mejorarla funcionalmente y energéticamente.

La segunda fue extraer los componentes que quedaban dentro de la embarcación y colocarlos sobre la mesa de trabajo para tener más maniobrabilidad.

La tercera fue adaptarle el “extractor de humos” y arrancar el grupo electrógeno para ponerla en funcionamiento. Se le había conectado a la salida del equipo de mando un ventilador industrial en lugar del propulsor eléctrico, esto permitiría trabajar más cómodamente con la instalación.

Desafortunadamente, la embarcación no arrancaba ni por contactores ni por variadores de frecuencia, por lo que el siguiente paso fue revisarla.

Además, dado que una mejora era darle funcionalidad a la instalación, se decidió que algo práctico sería poder quitar los equipos eléctricos y de control de una forma rápida, y reincorporarlos con gran facilidad cuando fuera necesario, ya que la instalación no va a estar permanentemente en el agua, de hecho lo estaría de forma puntual.

Con lo cual, esto ayudaría por un lado al transporte del equipo del punto de almacenamiento hasta el punto cercano al agua donde se fuera a utilizar. Ahorrando del mismo modo gastar tiempo con conexiones y montajes en el lugar de su uso, acción que podría dar lugar a golpes, caídas y fallos de la instalación.

A todo esto habría que añadirle que con la actual configuración del equipo este podría servir para futuros proyectos, ya sean para embarcaciones o no, ya que se ha creado un equipo móvil compacto y robusto, capaz de controlar dos motores eléctricos y darles alimentación.

Dicho esto, se reestructuró tanto el conexionado eléctrico como algunas partes mecánicas de la estructura. Por ejemplo, entre otras mejoras, se instalaron unos soportes para fijar los variadores de frecuencia de forma diagonal, que al mismo tiempo, permitiera poder extraer estos sin complicaciones ni invertir mucho tiempo.

También se fijó la base que soporta el panel de control y se instaló patas para poder dejar el equipo con facilidad en una mesa, sin dañar a esta, gracias a las fundas de las patas, las cuales son mitades de pelotas de tenis, evitando que estas deslicen o rayen superficies.

Otra característica física que se añadió fue los soportes para colgar el panel, de esta forma se puede colgar y descolgar con facilidad con unas grapas metálicas en la parte superior de su estructura, dando maniobrabilidad al operario a la hora de guardar el equipo o de revisarlo.

Pero sin duda alguna la acción más laboriosa fue el reconexionado eléctrico, debido a la necesidad de conocer el equipo y la genuidad del zócalo de conexionado.

Proporcionando un nuevo soporte para el zócalo que transmite las señales a los variadores, hace encender los leds que advierten del funcionamiento al operador o activa las bobinas de los contactores.

Por otro lado, en dicho panel había un número elevado de transformadores de tensión, shunts y otros componentes que hacían imposible visualizar el conexionado eléctrico de la instalación, y menos de poder sustituir cables en mal estado o apretar conexiones eléctricas. Además de encontrar cables sueltos debido entre otras cosas a un antiguo compensador síncrono, el cual ya no estaba y que se había usado en un proyecto anterior por el estudiante Carles Bou.

Por lo que para trabajar en dicha instalación se despejo de conexiones eléctricas innecesarias y se quitó parte de los transformadores y shunts. Dado que la toma de señales eléctricas se efectuara en una instalación aparte. También se instaló un soporte para fijar la regleta principal y de esta manera dar cierto espacio entre los cables y componentes eléctricos. Haciéndose todo más visual y fácil de seguir eléctricamente.

Otra característica que se le dio, en parte como un error inicial, fue darle menor longitud a los cables del zócalo para hacerlos más visuales y fáciles de seguir, es decir, para no tener un caos en los cables. Situando el zócalo al lado de la regleta principal.

Dado todo esto, ya se podía acceder a las conexiones antes escondidas por la densidad de equipos, como habían sido anteriormente los contactores o las regletas más alejadas. Por lo que se empezó a reconexionar los contactos y a revisar los esquemas eléctricos.

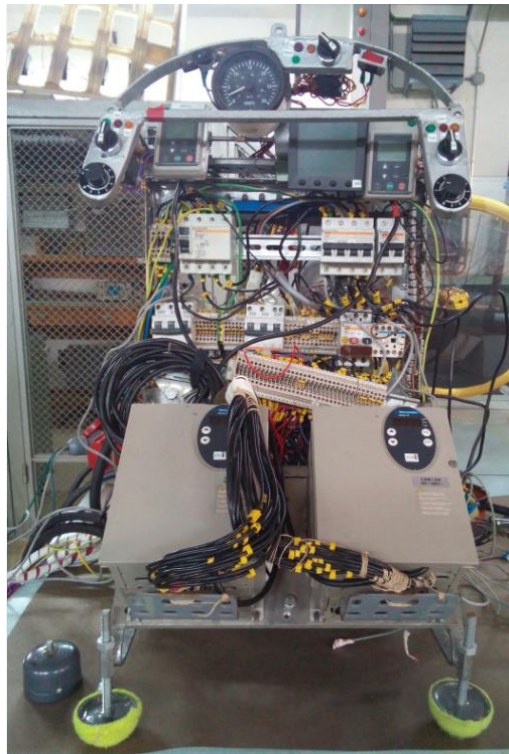
Finalmente, entre otras cosas, se quitaron diversos cables del compensador síncrono que podían conducir a error, se simplifico la instalación y se encontró una fase del grupo electrógeno que apenas hacia contacto o no lo hacía. Esta circunstancia podría haber sido una de las causas de que después del primer intento de reconexionado y segundo intento de arranque del equipo, nos diera la ligera impresión de que el ventilador tenía la intención o parecía que quería moverse. Moviéndose o dando gestos diminutos de vibración las primeras veces que se arrancó mediante el contactor de la alimentación del propulsor izquierdo.

Después de un par de intentos de arranque del ventilador, este dejo de dar señales de movimiento con el contactor de alimentación al propulsor izquierdo. Por otro lado, tanto el contactor derecho como los variadores de frecuencia no daban señales de intentar poner en movimiento dicho ventilador. Con lo que el siguiente paso a dar era revisar el conexionado de los cables según los esquemas eléctricos.

También se intentó hacer más visual la estructura que aguanta el equipo eléctrico, tanto con el diseño de esta como dándole una mano de pintura. Después de esto, se trató de arrancar de nuevo la instalación, otra vez con el ventilador industrial, para poder visualizar el funcionamiento y las respuestas de los variadores de frecuencia y contactores.

Funcionaba bien mediante el arranque de contactores, lamentablemente no respondían los variadores de frecuencia, con lo que otra vez se pasó a revisar el conexionado eléctrico.

Después de esto, se arrancó una última vez la instalación, esta vez dando respuesta tanto por contactores como con los variadores, por lo que en este punto la instalación estaba en condiciones operativas.



*Ilustración 10 Panel de control de la embarcación, con los variadores de frecuencia, etc.*



*Ilustración 11 Grupo electrógeno utilizado*



*Ilustración 12 Casco de la embarcación RAS*

### 3.2 Complicaciones

Una de las mayores complicaciones que se dieron fue situar el zócalo de las señales eléctricas, debido a que se necesitaron varias reestructuraciones de la instalación. Como ya se ha comentado, el panel eléctrico estaba bastante cargado y la estructura inicial que lo aguantaba era bastante endeble, con lo cual, se necesitaron varias instalaciones hasta que se encontró el punto óptimo.

De igual forma paso con la estructura para situar los variadores de frecuencia o la guía para situar la regleta principal, se necesitaron realizar varios montajes hasta que nos satisfago una, que es la actual. Pero dado que la regleta principal implicaba consigo un número elevado de conexiones eléctricas, esta era mucho más tediosa de resituar.

Otra complicación fue realizar soldaduras con cables cercanos a estas, pero gracias a la ayuda y destreza del tutor se pudo solventar dicho problema.

## 4 Autómata programable

### 4.1 Ventajas

Las instalaciones en lógica cableada presentan en ciertas ocasiones limitaciones, tanto de tiempo a la hora de cablear las relaciones de contactos como el espacio ocupado por dicha instalación. Necesitándose más espacio en la lógica cableada que en la lógica programada, además se debe prever espacio suficiente para los componentes de la instalación y para una posible futura ampliación de esta. Estos dos factores se repercuten en un tercero, el económico.

Todo esto hace que podamos diferenciar ciertas ventajas en la lógica programada, siendo las más destacadas las siguientes:

- El cableado es más rápido y más sencillo dado que el autómata ya incorpora funciones, contadores, temporizadores, etc. Ahorrando realizar diversas conexiones.
- El cableado no depende del dispositivo ni de la función que este realiza, por lo que cuando se requiera de la instalación un modo de funcionamiento diferente solo será necesario cambiar el programa. Pasará igual con las condiciones de funcionamiento.
- Los dispositivos auxiliares de mando se necesitarán en menor medida.
- Por último, la lógica programada aumenta las posibilidades de control con el tratamiento integrado de señales más complejas como analógicas, control PID, control SCADA, paneles de operador (HMI) o control PID.

Haciendo referencia a estas ventajas, una parte de este proyecto es controlar una instalación, concretamente una embarcación, dándole mayores prestaciones a dicha instalación, haciéndola de esta manera versátil a diferentes aplicaciones y usos. Como se ha visto, según la utilidad que se le vaya a dar en un momento dado, el operario puede seleccionar a través de la HMI el modo de funcionamiento y las condiciones a las que esta va a ser expuesta, por ejemplo: modo competición, compensación de cargas, control manual de velocidad o posición, luces, etc.

Esto proporciona flexibilidad a la hora de darle aplicaciones, ya que la lógica programada es más flexible que la lógica cableada. Pero también proporciona mayor flexibilidad a la hora de fabricar dicha embarcación en serie, porque un mismo equipo (en este caso el PLC S7 1212 más sus módulos que lo complementan) con el mismo programa, puede dar servicio a una gran variedad de diferentes embarcaciones.

Es decir, se podría instalar en motos acuáticas, lanchas de competición, embarcaciones de recreo, de transporte, de salvamento, etc. y solo capando segmentos o bloques del programa

Tia portal (en este caso), se puede diseñar con un solo equipo de automatización y un solo programa, diferentes instalaciones con aplicaciones totalmente diferentes. Por lo que se asegura una fabricación en cadena con una mayor probabilidad de abaratar costes de montaje, instalación y diseños de software y hardware.

## 4.2 Funcionamiento y conexionado eléctrico.

### 4.2.1 Entradas

Los componentes que indican un cambio de estado ya sean sensores, contactos eléctricos, reguladores, componentes de mando, etc. serán dispositivos de entrada, conectándose al bornero de entradas del autómata y cada vez que este cierre su circuito eléctrico llegara una señal eléctrica. Interpretándose esta como un dato binario o bit, siendo verdadero-falso, 0-1, on-off, etc en caso de que se trate de una entrada digital. De forma que 0V corresponde con el bit 0 y tensión positiva corresponde con bit 1. Este valor será registrado según la dirección de bit de entrada que tenga asociado el autómata, por ejemplo:

I.1.0Input, pertenece al número de byte 1, con el número de orden 0 del bit dentro del byte1.

Por lo que podemos concluir con que cada dispositivo de entrada quedara asociado a un bit de entrada y que el estado de cada dispositivo de entrada quedara reflejado en su correspondiente bit de entrada.

### 4.2.2 Salidas

Por otro lado tenemos las salidas, a las cuales conectaremos cualquier dispositivo de accionamiento y podremos decir que serán el resultado de la lógica programada, entre ellas se encontraran los contactores, relés, alarmas, dispositivos de señalización y dispositivos de carácter electrónico que reciban señales eléctricas (ordenes).

Estos componentes serán conectados al bornero de salida del autómata y serán accionados por la ejecución del programa, siendo el valor 0 o falso cuando el autómata abre el contacto eléctrico y 1 o verdadero cuando el autómata cierra el contacto eléctrico en el bornero de salida.

Estos estarán asociados a direcciones físicas del autómata, representados de la siguiente manera:

Q1.0 siendo una salida del byte 1 del bit 0, llamándose también salida1.0.

Como conclusión podemos decir que al igual que las entradas, cada actuador o componente de salida corresponderá a un bit de salida, estando el estado de cada bit de salida relacionado con la conexión/desconexión de un actuador o componente de salida.

El bit presenta la opción de presentarse con valor 0 o 1.

El byte es una agrupación de 8 bits, con  $2^8$  combinaciones, dando 256 posibilidades de estados.

El Word es una agrupación de 16 bits o lo que es lo mismo, 2 bytes, dando como resultado  $2^{16}$  o 65.536 opciones de estado.

El siguiente paso será el double word, siendo la agrupación de 2 words o su equivalente, 4 bytes, representando 4.294.967.296 estados posibles.

## **4.3 Automatización de la embarcación.**

### **4.3.1 Inclusión.**

En este proyecto se hará referencia a la automatización global de una embarcación, concretamente estará diseñada para el control remoto de la lancha Ras, pero tal y como se comentó en las ventajas de automatizar una instalación, una vez diseñada, estas son flexibles a cambios, por lo que podemos decir que este proyecto podría ser la base de automatizar tanto la lancha Ras como la base para automatizar wireless mayores embarcaciones tanto de transporte de mercancías como de personas, salvamento, mantenimiento de instalaciones off shore o seguridad, pudiendo ser controladas mediante un Scada.

Esto será posible gracias a una HMI la cual será programada mediante el software WinCC, esta gestionará la información de entrada que el usuario de la embarcación introduzca y al mismo tiempo, esta informará gráficamente al usuario de la situación de esta.

La información será transmitida mediante wifi, gracias a un adaptador de servidor conectado al PLC y un router conectado a la CPU que estará enterrada, por lo que el control de dicha embarcación podrá realizarse por control remoto (Wireless). Si se desea pilotar insitu dicha embarcación, podría hacerse mediante la conexión de la HMI mediante un conector RJ45 a la CPU del PLC, con lo que el piloto de la embarcación podría visualizar la información de la lancha al mismo tiempo que la pilota insitu.

De esta forma ,automatizaríamos la instalación, nótese que se podría ir un paso más allá con la integración de un SCADA (por ejemplo con el uso de Free SCADA) para la gestión de energía, avisos, etc. Pero esto sería para instalaciones de mayor envergadura con lo cual queda fuera de nuestro rango, aunque como se comentó, esta instalación sería la base para otras de mayores prestaciones.



### 4.3.2 Componentes.

A la hora de automatizar cualquier instalación, tendremos que pensar como realizar dos partes que después tendrán que tener cohesión entre sí. Estas dos partes serán el hardware y el software.

Por un lado tenemos como hardware a programar el PLC y el HMI, a los cuales tendremos que introducirles el software que lean las diferentes entradas según la lógica programada, y estos actúen en las salidas.

En nuestro caso, el conjunto de instrucciones programadas que determinaran el funcionamiento del PLC vendrán creadas por el programa Tia portal y Step 7, en cuanto a la interfaz gráfica presentada por la HMI, esta será creada por el programa WinCC.

Además, se configuraran diversos sensores como giroscopios, sensores de intensidad, llama, temperatura, etc a partir del entorno de desarrollo IDE.

### 4.3.3 Autómata gama SIMATIC S-1200

Para automatizar esta instalación se escogió la marca Siemens, dado que es uno de los mayores proveedores de equipos de automatización en Europa, por lo que da un gran soporte a sus usuarios y al mismo tiempo presenta una amplia gama de productos.

Nuestra instalación no tiene un número elevado de entradas ni de salidas a controlar o la necesidad de una gran memoria de programación en comparación con grandes industrias automatizadas, etc. Por este motivo, en el siguiente proyecto se ha escogido controlar la instalación mediante un micro PLC con módulos de ampliación.

Esto hará que la instalación sea más sencilla y al mismo tiempo, más económica. En caso de necesidad de una ampliación de entradas, salidas, memoria, etc., esto se efectuara mediante la adición de módulos o tarjeta de memoria, que se acoplaran a la CPU. La gama con la que se trabajara será la SIMATIC S-7-1200, siendo esta muy frecuente en la industria.

Dentro de esta gama se observan diferencias de tamaño y prestaciones, estas diferencias entre los distintos autómatas se basan en las diferencias de la CPU, dado que todos estos se programaran con el mismo software y de la misma forma.

Las capacidades presentadas por las distintas CPUs son esenciales a la hora de escoger el autómata, dado que deberá estudiarse el criterio de eficiencia, teniendo presentes el resultado y el coste que este supondrá. Haciéndose una previsión para no quedarnos sin recursos del autómata, pero al mismo tiempo sin sobredimensionar excesivamente los recursos.

A continuación se muestra una tabla con tres posibles CPUs de la gama S7-1200, estas son la CPU 1211, CPU 1212 y la CPU 1214.



Tabla 2 Tabla con CPUs de la gama S7-1200.

CARACTERÍSTICAS	CPU 1211	CPU 1212	CPU 1214
Entradas/salidas integradas	6DI/4DO	8DI/6DO	14DI/10DO
Entradas analógicas integradas	2 AI	2 AI	2 AI
Ampliación con módulos de señales	-	2 SM's	8 SM's
Ampliación con Signal Boards	1 SB	1 SB	1 SB
Ampliación con módulos de comunicación	3 CM's	3 CM's	3 CM's
Contadores rápidos	3	4	6
Reloj de tiempo real	Sí	Sí	Sí
Puertos	1 Ethernet	1 Ethernet	1 Ethernet
Dispositivo HMI	3	3	3
Memoria de programa/datos	16 KB para arranque y ciclo 4 KB para eventos de alarma estándar 4 KB para eventos de alarma de error	16 KB para arranque y ciclo 4 KB para eventos de alarma estándar 4 KB para eventos de alarma de error	16 KB para arranque y ciclo 4 KB para eventos de alarma estándar 4 KB para eventos de alarma de error
Área de marcas (M)	4096 bytes	4096 bytes	8192 bytes
Memoria de trabajo	25 kB	25 kB	50 kB

#### 4.3.4 Componentes S7-1200

Es una unidad compacta, la cual incluye los siguientes componentes:

- Una CPU o unidad central de procesamiento, siendo este el componente más determinante.
- Una fuente de alimentación interna la cual suministrara 24V DC a la CPU, a el Signal Board, los módulos de comunicación y módulos de señales.
- Entradas y salidas digitales integradas.
- Entradas analógicas.
- Comunicación con una red PROFINET mediante un puerto integrado. Además, dispone de módulos adicionales para la comunicación mediante PROFIBUS, RS485, GPRS, AS-i o RS232.
- E/S de alta velocidad para el control de movimiento



*Ilustración 13 CPU de la gama Simatic*

## 4.4 Elección de CPU

La CPU escogida para esta instalación será la 1212C AC/DC/relé 6ES7 212-1BE31-0XB0 por dos motivos. El primero se debe a la tensión de alimentación de la CPU, dado que se alimentara con una fase del grupo electrógeno y esta fase tendrá una tensión alterna de 220 V. El segundo motivo hace referencia al número de salidas binarias rápidas que necesitaremos, en nuestro caso no se requerirán salidas en modo tren de impulsos a 100 kHz, por lo que no requeriremos la CPU 1212C /DC/DC/DC. A continuación se presenta una tabla con las características de la CPU escogida.

Tabla 3 Características técnicas de la CPU escogida para esta instalación, la 1212C AC/DC/relé.

6ES7 212-1BE31-0XB0 CPU 1212C AC/DC/relé		6ES7 212-1BE31-0XB0 CPU 1212C AC/DC/relé	
<b>Información general</b>		<b>Entradas digitales</b>	
Ingeniería con		Cantidad/entradas binarias	8; integrada
• Paquete de programación	STEP 7 V11.0 SP2 o superior	• De ellas, entradas usable para funciones tecnológicas	4; HSC (High Speed Counting)
<b>Tensión de alimentación</b>		<b>Salidas digitales</b>	
24 V DC		Número/salidas binarias	6; Relé
120 V AC	Si	• De ellas, salidas rápidas	
230 V AC	Si	<b>Entradas analógicas</b>	
<b>Alimentación de sensores</b>		Canales integrados (AI)	2; 0 a 10 V
Alimentación de sensores 24 V		Rangos de entrada	
• 24 V	Rango permitido: 20,4 a 28,8 V	• Tensión	Si
<b>Pérdidas</b>		<b>1. Interfaz</b>	
Pérdidas, tip.	11 W	Tipo de interfaz	PROFINET
<b>Memoria</b>		Norma física	Ethernet
Memoria de trabajo		Funcionalidad	
• integrada	50 kbyte	• PROFINET IO-Controller	Si
Memoria de carga		<b>Funciones de comunicación</b>	
• integrada	1 Mbyte	Comunicación S7	
Respaldo		• Soporta servidor iPAR	Si
• sin pila	Si	Comunicación IE abierta	
<b>Tiempos de ejecución de la CPU</b>		• TCP/IP	Si
para operaciones de bits, tip.	0,085 µs; /instrucción	• ISO-on-TCP (RFC1006)	Si
para operaciones de palabras, tip.	1,7 µs; /instrucción	• UDP	Si
para aritmética en coma flotante, tip.	2,5 µs; /instrucción	servidores web	
<b>Áreas de datos y su remanencia</b>		• Soporta servidor iPAR	Si
Marcas		<b>Funciones integradas</b>	
• Cantidad, máx.	4 kbyte; Tamaño del área de marcas	Nº de contadores	4
<b>Área de direcciones</b>		Frecuencia de conteo (contadores), máx.	100 kHz
Imagen del proceso		Frecuencímetro	Si
• Entradas, configurables	1 kbyte	Posicionamiento en lazo abierto	Si
• Salidas, configurables	1 kbyte	Regulador PID	Si
<b>Hora</b>		Nº de entradas de alarma	4
Reloj		Nº de salidas de impulsos	
• Reloj por hardware (reloj tiempo real)	Si	Frecuencia límite (impulsos)	
<b>Dimensiones</b>		<b>Condiciones ambientales</b>	
Anchura	90 mm	Temperatura de empleo	
Altura	100 mm	• mín.	-20 °C
Profundidad	75 mm	• máx.	60 °C
<b>Peso</b>		<b>Configuración</b>	
Peso, aprox.	425 g	programación	
		• Lenguaje de programación	
		- KOP	Si
		- FUP	Si
		- SCL	Si

## 4.5 Consideraciones en el montaje/conexionado eléctrico.

A la hora de cablear la CPU y SM del autómata se utilizarán cables de sección entre  $0.3 \text{ mm}^2$  hasta  $2 \text{ mm}^2$  acorde a las intensidades de trabajo, por otro lado, para cablear la SB se utilizarán diámetros entre  $0.3 \text{ mm}^2$  y  $1.3 \text{ mm}^2$ .

Dado que la alimentación de nuestra CPU no es suficiente para alimentar algunas cargas externas, se usaran alimentaciones externas, pero estas no se conectarán en paralelo para no producir corrientes inversas a través de la salida del autómata y acortar así su vida útil.

Anteriormente ya se determinó que la CPU sería alimentada con corriente alterna, esto determinará algunas características de nuestra instalación. La primera será instalar protecciones de sobretensiones en los equipos alimentados con esta como veremos más adelante.

La segunda sería conectar a tierra la borna de tierra del bornero de alimentación de la CPU, todas las masas, incluido las masas de las entradas digitales y el terminal negativo de la fuente de alimentación, con un cable de una sección de unos  $2 \text{ mm}^2$ . Esto hará que no haya diferenciales en nuestra instalación y no cause inexactitudes en los valores o daños a esta.

Cabe destacar que podemos utilizar tanto corriente alterna como continua para las salidas que utilicemos, pero con corrientes alterna se comportarán como circuitos aislados independientes mientras que si utilizamos corrientes continuas tendremos que conectar sus masas entre sí para tener todas una misma referencia común. Una excepción serán las salidas a relé, las cuales serán contactos libres e independientes de potencial, conectándose cada circuito de salida a una tensión AC o DC diferente, siendo circuitos de salida aislados eléctricamente.

Independientemente, las entradas del S-7 1200 se conectarán únicamente a 24V CC, con las masas conectadas entre sí.

Por otro lado, a la hora de proteger la instalación de exposiciones a rayos, se comentará más adelante de dispositivos para suprimir dichas sobretensiones.

## 4.6 Elección en la transmisión de señales.

Dentro de la embarcación, a la hora de transmitir señales se ha optado hacerlo analógicamente en lugar de utilizar señales digitales con buses de campo como podrían haber sido AS-I, CAN, Profibus, Modbus, etc. Esto se debe a que los sensores y los actuadores están a distancias muy cortas del microPLC, permitiendo utilizar señales analógicas sin problemas, dado que las caídas de tensión serán mínimas y las señales no se perderán, siendo completamente fiables.

Por otro lado, dicha instalación no presenta gran ruido electromagnético, por lo que no se producirá una interacción en los cables que haga dudar de la fiabilidad de las señales obtenidas, esto repercute en que no sea necesario apantallar los cables.

Por último, dado que las señales analógicas son más susceptibles de cambiar su estado debido a campos electromagnéticos, tendremos que tener en cuenta separar el cableado de corriente de alterna de alta tensión, como podría ser la alimentación de ambos propulsores eléctricos o los cables salientes del grupo electrógeno, del cableado de baja tensión de continua que conmute rápidamente, como podría ser el conexionado del sensor de efecto Hall para la medición de velocidad de la lancha ras, El Router 3G o el control del variador de frecuencia si queremos controlarlo mediante PWM.

## 5 HMI

### 5.1 Presentación de la interfaz gráfica.

La interfaz gráfica presentada por la HMI será diseñada con el software WinCC, esta permitirá al operador una visualización intuitiva de la instalación para hacer sencillo el control de la embarcación. La interfaz Hombre-Máquina servirá tanto para conocer el estado de nuestra embarcación, como para controlar esta mediante la activación de condiciones y parámetros.

Esto se debe a que podremos visualizar el estado de los sensores y condiciones que la embarcación presenta, pero al mismo tiempo podremos actuar sobre algunas de estas variables para obtener diferentes situaciones o condiciones mediante la lógica programada.

Esta interfaz gráfica puede ser visualizada desde dispositivos tan variados como portátiles, móviles o PCs, dado que estos traen integrados la tarjeta de red, con lo cual pueden acceder a redes wifi. Con el usuario y contraseña apropiados, podrían acceder a visualizar los valores de la embarcación o escribir valores en las variables pertinentes. Eso sí, el móvil u otro dispositivo deben presentar las condiciones necesarias para poder soportar el software de la HMI o incluso el software del Scada si se creara.

Por otro lado, las pantallas HMI de gama media/baja no traen consigo la tarjeta de acceso wifi incorporadas, con lo cual, si decidiéramos usar una, deberíamos añadirle la posibilidad de conectarse a redes internas. Como se verá en el apartado de comunicación, en este trabajo se utilizara el modulo cliente SCALANCE W720 para comunicar el PLC con la red interna, y de igual forma se podría hacer para comunicar la HMI con la red, aunque en este trabajo la interfaz gráfica se visualizara desde un PC, siendo una simple configuración de equipo lo que marca el dispositivo de visualización.

### 5.2 Pantallas de la HMI

En este apartado se presentan las diferentes pantallas que se dan como resultado de la interfaz gráfica después de seleccionar parámetros de la HMI como dispositivo a usar, resolución, etc. y de programar con una presentación gráfica las variables de entrada y salida.

La primera pantalla es el panel de control, y a partir de esta, podemos acceder a otras, dependiendo de qué parámetros queramos visualizar/controlar.

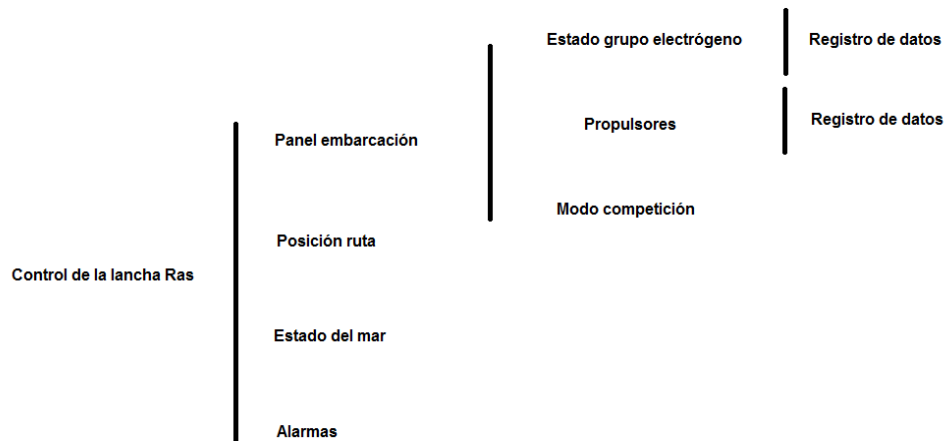


Ilustración 14 Esquema de organización de las pantallas de la HMI diseñada.

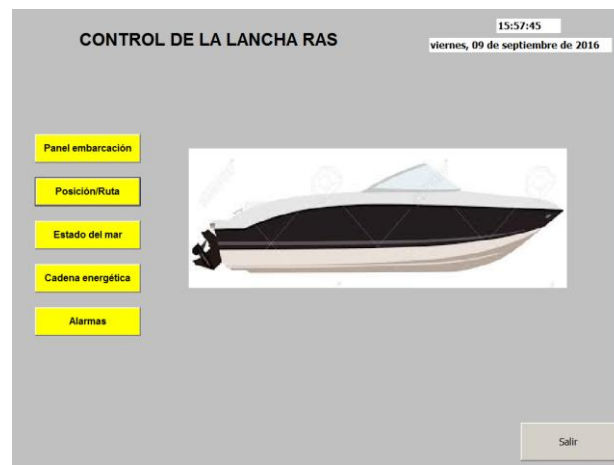


Ilustración 15 Pantalla de cabecera "Control de la lancha Ras"

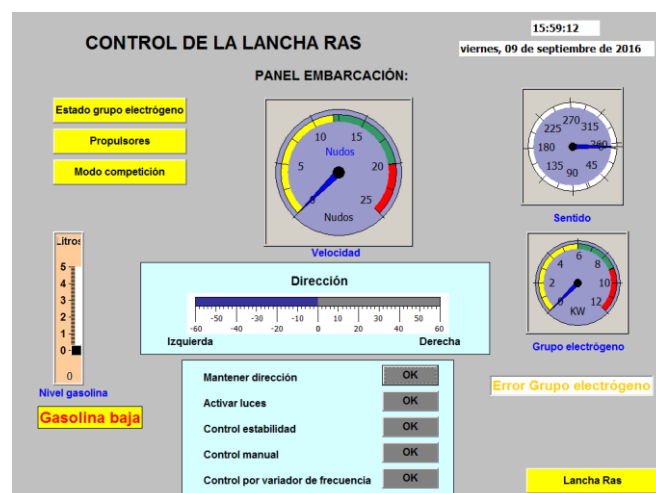


Ilustración 16 Pantalla "Panel embarcación"

En esta pantalla podemos visualizar los principales valores a la hora de navegar una embarcación. Valores como el nivel de gasolina, la dirección, el sentido, la velocidad o la potencia del grupo electrógeno.

Además, incluye opciones como el control de la dirección mediante PID, la activación de luces, control por contactor o variadores de frecuencia, etc.

También dispone de diversas alarmas, como por ejemplo gasolina baja o error en el grupo electrógeno, entre otras.

Otra pantalla de interés es la que proporciona el estado del grupo electrógeno.

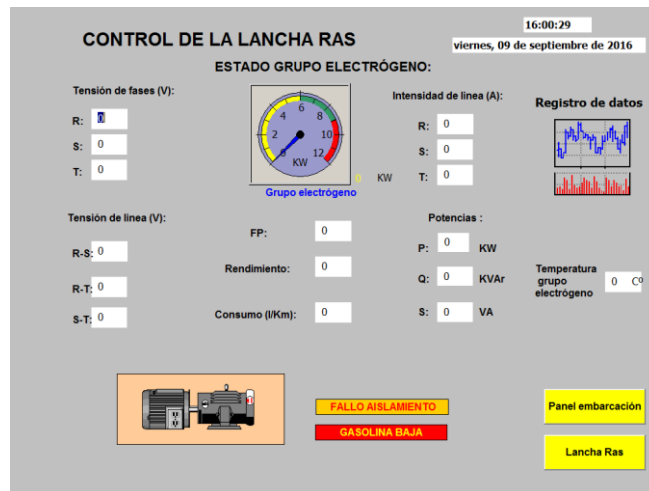


Ilustración 17 Estado grupo electrógeno.

Esta permite visualizar los valores que conciernen al grupo electrógeno, como tensiones de línea, de fase, intensidades, potencias o temperatura del equipo entre otros valores.

Incluye un registro de datos, que al ser pulsado accede a otra pantalla, la cual registra graficas de variables con el tiempo. Estas variables son tensiones de fase, rendimiento y potencias, así como temperatura. Con lo cual, permite saber cuándo estuvo en funcionamiento, cuánto tiempo y cuál fue su funcionamiento. Dando la opción de llevar a cabo un seguimiento de mantenimiento preventivo.

También incluye alarmas y avisos, por ejemplo, si el depósito de gasolina detecta 3 litros, un aviso se activara, apareciendo un letrero “Gasolina baja” con fondo amarillo y letras rojas. Pero si el nivel de gasolina disminuye a un 1 litro, el aviso se volverá alarma, cambiando su configuración a un letrero rojo, con letras amarillas y siendo este parpadeante.

También se darán otros avisos y alarmas que aparecerán únicamente en caso de que se produzcan ciertas condiciones, como “Temperatura elevada” o “Fallo aislamiento”.



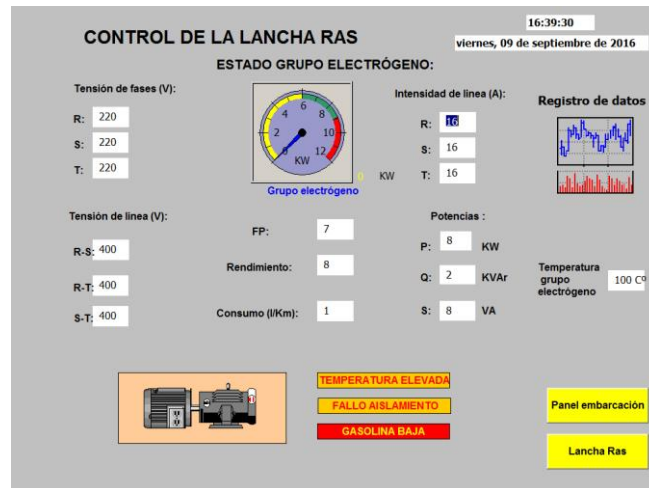


Ilustración 18 Alarmas del grupo electrógeno.

Igual de importante es el estado de los propulsores, por lo que a estos también se les dedica una pantalla.

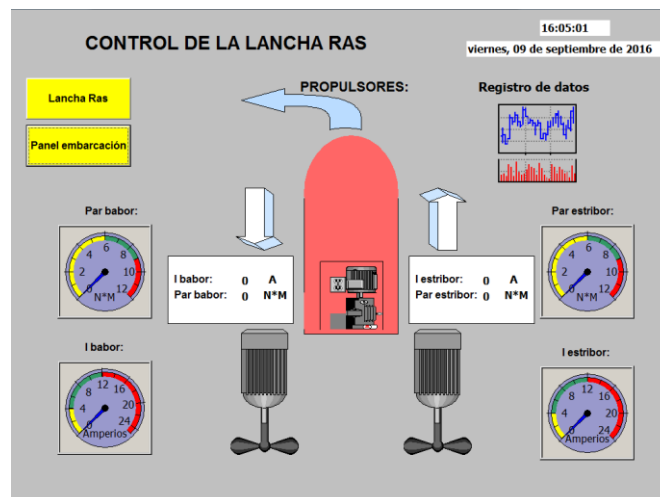


Ilustración 19 Pantalla "Propulsores" con giro a izquierdas.

En esta pantalla se visualizan valores como las intensidades o pares de los propulsores. También dispone de un enlace a otra pantalla llamada "Registro de datos", la cual presenta graficas de variables como el Par y la intensidad consumida por los propulsores, en función del tiempo.

Otro aspecto importante es que a la hora de maniobrar la instalación, esta pantalla nos indica en qué sentido se está haciendo el giro, dado que según se indique en el mando de control, esta pantalla interpretara los valores e indicara el sentido de giro, cambiando la presentación gráfica.

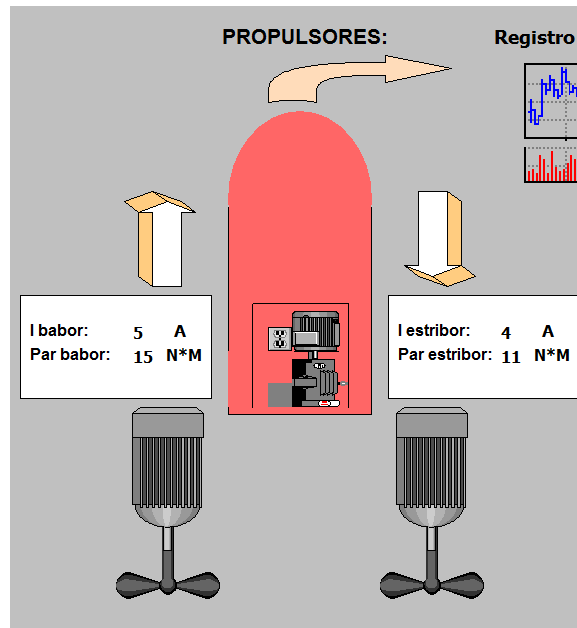


Ilustración 20 Pantalla propulsores con giro a derechas.

Dado que la lancha Ras era inicialmente una lancha de competición, no se ha querido dejar este carácter de lado, con lo que se ha proporcionado una pantalla para usar a la hora de competir.

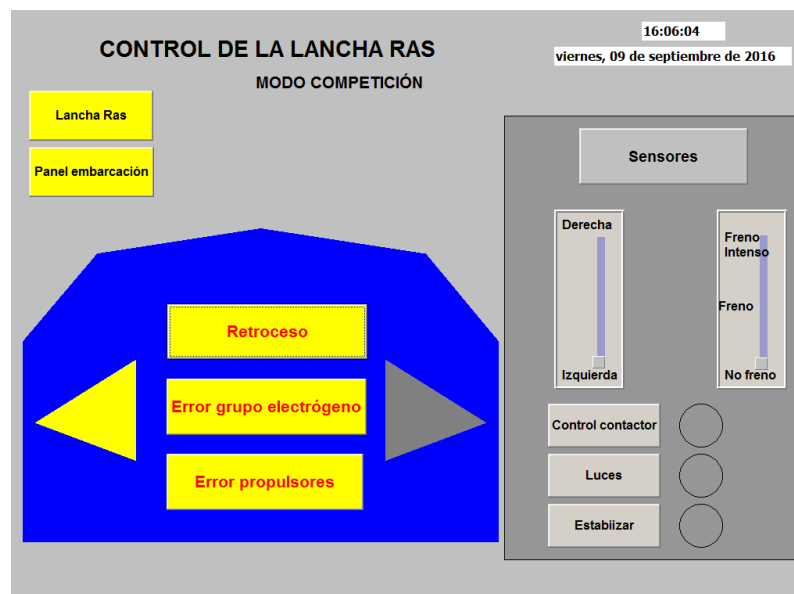


Ilustración 21 Pantalla "Modo competición"

Esta pantalla es fácil de interpretar e intuitiva, siendo especialmente pensada para la navegación insitu del operario, y no para controlar la embarcación de forma wireless.

Esta indica la dirección, si se está efectuando frenado y el grado de este que se está efectuando, así como activar luces o avisar de los principales fallos de la instalación en la supuesta situación en que estos se dieran.

Como es obvio, si se va a pilotar una embarcación, ya sea de forma wireless o insitu, es necesario conocer las condiciones del lugar. La pantalla “Estado del mar” proporciona esta información, para que se actúe conforme a las condiciones que presente el mar. Por lo que esta pantalla será únicamente informativa, ya que como es lógico, este no podrá cambiar ningún valor.

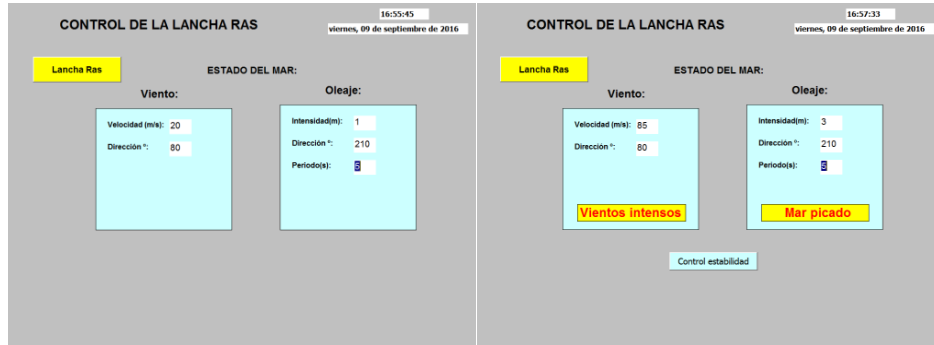


Ilustración 22 Pantalla “Estado del mar” y sus avisos.

Los datos que se presentaran serán los relacionados con el estado del mar, y en caso necesario, la HMI informara al operario mediante avisos de las condiciones severas si se dieran.

Por último, se presenta una pantalla que registrara los diferentes fallos y avisos que se dan en el transcurso del funcionamiento de la embarcación, indicando día y hora. Además de cuando se ha puesto está en funcionamiento.



Ilustración 23 Pantalla de “Alarmas”

Permitiendo llevar el seguimiento de un mantenimiento preventivo.

Tabla 4 Algunos de los avisos incluidos en la pantalla de "Alarmas"

Texto	Número	Clase	Variable de tri...	Límite	Modo de trigger
No queda gasolina	1	Advertencias	Litros gasolina	1	En caso de re...
Error grupo electrógeno	2	Advertencias	KW grupo elec	9	En caso de rebas...
Vientos intensos	3	Advertencias	Velocidad viento	85	En caso de rebas...
Mar picado	4	Advertencias	Intensidad Oleaje	2	En caso de rebas...
Conducción poco eficiente	5	Advertencias	Consumo(l/Km)	2	En caso de rebas...
Temperatura alta grupo electrógeno	6	Advertencias	Temp grupo elect...	90	En caso de rebas...
Fallo línea grupo electrógeno V línea R	7	Advertencias	Tensión fase R	240	En caso de rebas...
Fallo línea grupo electrógeno V línea R	8	Advertencias	Tensión fase R	240	En caso de rebas...
Fallo línea grupo electrógeno I línea R	9	Advertencias	Intensidad línea R	21	En caso de rebas...
Fallo línea grupo electrógeno I línea R	10	Advertencias	Intensidad línea R	10	En caso de rebas...

## 5.3 Entradas y salidas del S7 1212C

En este apartado se presentaran las entradas del S7 1212C, perteneciendo estas a los sensores, sistemas de protección, actuadores y controles electrónicos. Estas pueden cambiar los valores asociados a sus variables mediante cambios en las condiciones externas como podrían ser cambios climáticos o mediante la actuación del operario.

Al mismo tiempo se presentara la relación que presentan dichas entradas con las salidas a las que están asociadas mediante el programa interno del PLC, intentando dar cohesión a la automatización de la instalación.

Dado que es en la HMI donde se reflejan los valores de las variables, ya sean estas internas o externas, empezaremos por definir las variables que deseamos controlar o visualizar en cada pantalla de la interfaz hombre máquina y al mismo tiempo se expondrá la instalación necesaria para medir esta variable en el caso de que se requiera.

La primera variable será la de "Activar luces", siendo esta una variable DI activándose mediante la HMI desde el pulsador Luces, activándose la iluminación de su pulsador en verde cuando estas estén encendidas. Por otro lado, mediante una salida digital del autómatas, este activara una salida de relé NA, con lo cual cerrara el circuito del relé, permitiendo la conexión eléctrica de dos luces para una posible visión nocturna. En total, la activación de las luces requiere de 1 DI y 1 DO en el autómatas.

Como ampliación a la hora de automatizar la instalación, por ejemplo, la adición de transmisión de imágenes para salvamento, etc., se podría instalar sensores de luz, los cuales se conectarían a un DI del S7 1212 y que permitiría la activación automática de las luces cuando la luz sea escasa. Pero en este proyecto no se llegara tan lejos.

"Activar control contactor", esta variable ya se puede activar actualmente en la instalación insitu, mediante un selector podemos seleccionar controlar los motores con contactores o con variadores de frecuencia. Si queremos controlar dicha embarcación de forma remota esta opción también tiene que hacerse posible desde la HMI, con lo cual el PLC necesitara una entrada digital y otra de salida también digital que activara un contactor, permitiendo en la posición cerrada el paso de tensión por el cable de los contactores, y en la posición abierta del

contactor la tensión circulara por los variadores de frecuencia. Cabe destacar que la HMI trabajara con dos variables que son lo mismo para la lógica programada, ya que activaran la misma marca y la misma salida, estas son “activar control contactor” y “Control contactor”, pero a la hora de programar la HMI se hace más sencillo con estas dos variables.

La variable “Activar sensores competición” necesitara una entrada digital, pero ninguna salida, ya que será la lógica programada la que actuara sobre las diferentes salidas para obtener el mayor control y la mayor rapidez de respuesta de la lancha Ras.

La variable “Control estabilidad” será comentada más adelante y requerirá de un DI y un DO con salida a un relé, además de un PID del autómatas.

La variable “control manual” tendrá un DI para activar dicha opción en la lógica programada y se trabajara con la señal como una variable interna. Independientemente tendrá las entradas del joystick para pilotar dicha instalación manualmente, pero esto se verá en otro apartado.

La variable “Dirección” hará referencia a la dirección que llevara la embarcación, siendo obtenido este valor por medio de un Giroscopio incorporado a la instalación. Dicha variable junto con la variable “Periodo oleaje” se presentaran en profundidad en otro apartado, pero habrá que tener presente que influenciaran en el variador de frecuencia de los motores.

Por otro lado, mediante la entrada analógica de un potenciómetro en el PLC y junto con la variable “Dirección”, se obtendrá la variable “Dirección oleaje”, permitiendo esta conocer que dirección lleva el oleaje y así poder tomar la ruta más adecuada según la gente con experiencia en el mar. De esta forma se ahorra combustible aprovechando diversas situaciones, por ejemplo, orientándose de espaldas a las olas y dejándose arrastrar por ellas o surfeándolas. Siendo una situación a evitar el no tomar de cara las olas para que no nos frenen de golpe la embarcación, situación que incrementaría considerablemente el consumo de combustible.

La potencia aparente, reactiva y activa proporcionadas por la generación del grupo electrógeno son representadas en sus respectivas variables en la HMI. Estos valores son proporcionados mediante el instrumento de medida de la marca Schneider PM850, el cual ya está incorporado en la embarcación.

Con la variable “Propulsores” activaremos en la interfaz hombre-máquina una alarma llamada “ERROR propulsores”, de esta forma podremos avisar al operario del funcionamiento erróneo de estos. Esta variable será interna y será accionada por diversas señales combinadas entre sí mediante el programa del Tia Portal, utilizando otras variables de mediciones eléctricas obtenidas.

Otra variable interna (pero esta vez de valor numérico) a mostrar en la HMI que se obtiene como resultado de la combinación de otras variables físicas que obtendremos mediante la medición con los sensores correspondientes es la variable “Rendimiento”.

La variable interna “Sentido” será parecida a la de “Dirección” obteniéndose ambas con el giroscopio, solo que en la HMI se presentaran de una forma gráfica diferente, para que sean más intuitivas según el tipo de navegación.

Con un sensor de temperatura analógico amplificado y filtrado se obtendrá la variable “Temp grupo electrógeno”, utilizándose para dar la advertencia al usuario en el display, además esta podrá ser observada numéricamente cuando se exceda de cierta temperatura normalizada, como indicativo de un funcionamiento deteriorado o de necesidad de mantenimiento.

Las variables de “Tensión fase” serán obtenidas analógicamente mediante transformadores de tensión que reduzcan esta, a valores óptimos para ser inputs en las entradas analógicas del PLC, además, para evitar posibles daños, se incorporaran protecciones en estas líneas.

Con un sensor de efecto Hall y un simple molino de viento, se obtendrá la medición de la velocidad del viento, esta medida se obtendrá mediante una de las entradas de pulsos rápidos del PLC. Dado que en una aspa del molino se colocara la parte metálica que dará el pulso eléctrico cuando esta pase por delante del sensor Hall, de esta forma, cada pulso eléctrico será una vuelta de las aspas del molino de viento y mediante la lógica programada se obtendrá la velocidad del viento, reflejándose este valor en la variable “velocidad viento”.

Con el valor del giroscopio junto con un potenciómetro podremos obtener la dirección del viento, necesitando para el potenciómetro una entrada analógica en el PLC. Esta variable se llama “Dirección viento” y se representara en el display de forma gráfica.

Las variables de la HMI “Estado grupo electrógeno” y “Fallo AISLAMIENTO” son activadas como consecuencia de los valores obtenidos del grupo electrógeno y el programa del PLC, dando aviso al operador de problemas eléctricos.

La variable “FP” es proporcionada por el PM850 y será representada en la HMI de forma numérica. Al igual que la variable freno competición, que será obtenida mediante el acelerómetro, siendo esta variable comentada más detalladamente en otro apartado.

La variable “Giro competición” vendrá dada físicamente como muestra en este proyecto por el Joystick, que necesitara 2 entradas analógicas y una digital en el Arduino, actuando sobre los variadores de frecuencia al igual que inicialmente lo hacían los dos potenciómetros por separado ya instalados en dicha embarcación.

Pero dado que se quieren visualizar los valores mediante una HMI, este Joystick estará comunicado con dicha HMI, con lo cual, las señales se transmitirán a el PLC y de este saldrán dos salidas analógicas a los variadores de frecuencia.

Los valores de las intensidades serán obtenidos mediante transformadores de tensión para bajar la tensión y shunts para tomar valores de las intensidades de forma analógica mediante el PLC, por lo que necesitaremos 2 entradas analógicas para la toma de valores de los propulsores y 3 para las intensidades del grupo electrógeno.

Otra entrada analógica seria la del sensor de presión para depósitos de combustibles que usaremos para saber cuánta gasolina disponemos en el grupo electrógeno y dando aviso.

Por último, se obtendrá la velocidad de navegación por medio de otro emisor de pulsos ya instalado en la embarcación con un DI.

## 6 Arduino.

### 6.1 Automatización con “Arduino”.

Dado que en este proyecto se quería profundizar en la automatización de una instalación real, y no solo teorizar sobre que equipos se deberían instalar. Además de detallar los componentes de hardware requeridos en dicha instalación, se ha realizado los diseños de software de la HMI y de la lógica programada usada por el PLC.

Pero dado que se quería presentar resultados o configuraciones empíricas para solventar partes del control de la embarcación, se ha recurrido al uso de material “arduino”.

Esto se debe a la no disposición de equipos autómatas en nuestras instalaciones, y por cuestión de precio, se escapa de presupuesto comprar procesadores, módulos de ampliación, HMI, etc. solo para este proyecto. Aunque no se descarta la idea de que en el futuro alguien tome el relevo de lo aquí presentado y decida ir un paso más allá usando como base este proyecto.

Fueron varios los motivos por los cuales se decantó por usar “Arduino” y no otros equipos a la hora de dar solución a algunas aplicaciones o mediciones que se necesitan realizar en la instalación, permitiendo dar ejemplo del funcionamiento de algunos sensores como Giroscopio, medición de intensidades en el equipo, sensores de llama y temperatura, humedad o el manejo de la embarcación mediante Joystick.

Como se ha comentado, aparte de un tema económico y la versatilidad que estos proporcionan, el entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente y toda la plataforma esta liberada con código abierto, permitiendo que una amplia red de usuarios, con lo que dicha plataforma está bien desarrollada y esto facilita las cosas.

Además, el lenguaje de programación de Arduino está basado en C++ e incluso es posible usar comandos estándar de C++ en la programación de estos, con lo cual, al ser un lenguaje tan común, sería muy fácil coger dichas aplicaciones que aremos con Arduino y adaptarlas al PLC, facilitando el futuro desarrollo de esta instalación a la hora de llevarla a la fabricación para su venta.

### 6.2 Clon chino “Arduino”.

Como no queremos mal entendidos, comentar que realmente no se ha usado ningún equipo ni sensor de la marca Arduino, es por eso que se presenta entre comillas. Lo que si se ha utilizado ha sido clones chinos de sus procesadores y placas, además de sensores chinos que se han encontrado a través de la web.

Este material fue adquirido en lugar de equipos Arduinos por una cuestión de precio, dado que son mucho más asequibles económicamente. Pero también lleva consigo problemas a la hora de configurarlos.

Algunos de estos problemas son la configuración distinta de pines, la dificultad a la hora de buscar data sheets por la web y como no, menor calidad de los equipos, ya que se han tenido algunas dificultades con las prestaciones de estos, dando fallos de forma prematura en sensores. Esto dificultó su programación y configuración a la hora de obtener valores.

### 6.3 Control de propulsores mediante potenciómetros.

Como estaba la embarcación, tal y como queda representado en los esquemas eléctricos de la hoja 11/15 y 12/15, esta podía ser controlada mediante contactores o mediante variadores de frecuencia.

En la hoja 11/15 de los esquemas eléctricos se puede observar un selector, para accionar las bobinas de los contactores que dan conexión a los variadores de frecuencia o a los contactores. Posteriormente de elegir un modo, tendremos que elegir con otro selector que sentido de giro queremos que los propulsores tengan, eligiendo de este modo el movimiento “Avante” o “Atrás” de la embarcación. Por último, en caso de que se haya elegido accionar los motores mediante variador de frecuencia, tendremos que elegir la velocidad de giro de estos. Incluso si se quiere cambiar la dirección de la embarcación, se jugará con los potenciómetros, para hacerlo mediante propulsión diferencial.

El funcionamiento de dicha instalación es correcto y da resultado, pero sí que es cierto que se necesita controlar un potenciómetro con cada mano a la hora de girar, además de que si se necesita frenar o girar bruscamente no se realiza tan rápido como se espera de un vehículo, además de ser poco intuitivo.

### 6.4 Control de propulsores mediante Joystick

Por simplificar el modo de funcionamiento comentado en el apartado anterior, se ha realizado una instalación de un Joystick con dos potenciómetros incorporados y un botón “Pull-up” con “Arduino”.

Lo que se pretende es dar simplicidad y manejabilidad al control de la embarcación, haciéndola intuitiva y fácil de manejar.

Como se ha comentado, el joystick tiene dos potenciómetros, uno para el eje x y otro para el y, los cuales pertenecen a las entradas analógicas A1 y A2. Mediante el movimiento del joystick se consigue variar la tensión de entrada en el bornero A1 y A2, variando esta de 0 a 5V, con una sensibilidad de 4,8 mV, dado que Arduino reconoce 1023 valores en sus entradas analógicas.



A través de una resistencia de  $330\ \Omega$  (en realidad  $300\Omega$ ), las salidas PWM 9 y 10 regulan la tensión que estas proporcionan a la base de los transistores NPN 2222N, permitiendo más o menos el paso de tensión de los colectores a los emisores, con un rango de 0 a 10 VDC, siendo este el rango de regulación de los variadores de frecuencia con el bornero 2A1 y 1A1.

Efectuándose de esta manera ya que Arduino no es capaz de proporcionar más de 5 VDC a unas intensidades demasiado bajas (40 mA), dando como máximo una potencia de 0,2 Watt, algo insuficiente para esta aplicación, ya que se requieren 10 VDC. En cambio, con los transistores utilizados podemos usar como máximo 50V y hasta 0,5 Amperios, más que suficiente.

En realidad, esta alimentación se ha efectuado con una pila de 9 Vcc, ya que no se disponía de una de 10Vcc. Pero perfectamente se puede usar una fuente de alimentación instalada en la embarcación para proporcionar dicha tensión.

También se han instalado leds en paralelo a modo de diodos, para evitar la recirculación de intensidades inductivas parasitas que pudieran quedar en el bobinado de la instalación.

Por último, el Joystick dispone de un botón "Pull-Up" este se ha conectado a la entrada digital 4 a modo On/Off, dando paso o no mediante el transistor a alimentar el contactor.

Este contactor NA, en caso de conexión dará alimentación a los borneros "L12" del variador "Er" y "Br", con lo cual se invertirá el sentido de giro de los motores de propulsión, frenando la embarcación o manejándola hacia atrás con el movimiento del Joystick.

En cuanto a la programación del circuito, comentar que dicha aplicación se logró mediante el entorno de desarrollo de Arduino (IDE)

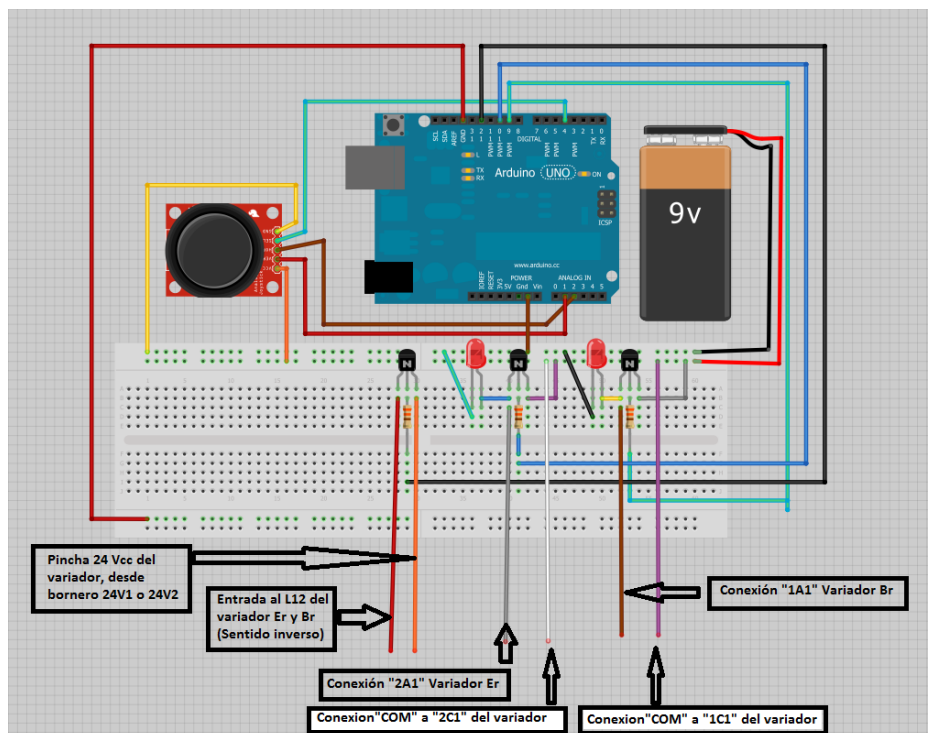


Ilustración 24 Esquema de conexionado

En la imagen podemos observar el esquema de conexionado de los componentes necesarios para el control de los propulsores mediante joystick, a través del entorno de desarrollo de Arduino (IDE).

Para la realización del esquema electrónico de este control de Joystick y otros, se ha usado Fritzing, siendo esta una aplicación de software para permitir desarrollar un prototipo visual de una placa a partir de una idea, usando una protoboard por ejemplo.

## 6.5 Ciaboga.

En los muelles de los puertos es frecuente encontrarse, que el espacio para maniobrar la embarcación es limitado, por lo que será bienvenida cualquier instalación para mejorar las condiciones de maniobrabilidad en estos lugares.

Aquí es donde entra en juego el concepto de “ciaboga”, siendo este un movimiento muypreciado en las embarcaciones y que no siempre se puede conseguir. Es por esto que en la embarcación presente hemos querido instalar un panel de mando para que el operario pueda efectuar dicha maniobra.

De forma paralela, hemos representado el movimiento de ciaboga en la HMI, en la pantalla de los propulsores, para que el operario tenga un control absoluto del sentido de rotación de la embarcación.

### 6.5.1 Concepto de “ciaboga”.

Este concepto se basa en girar en un sentido un motor y paralelamente, girar el otro motor en dirección contraria. De esta manera la embarcación rotara en un sentido de giro, mientras que si los motores se intercambian las direcciones de giro, la embarcación rotara en sentido contrario. En las imágenes de la HMI se puede apreciar claramente este movimiento.

Mediante la variable “giro competición”, la HMI es capaz de interpretar hacia qué sentido rotara la embarcación y mediante flechas en una u otra dirección, el operario estará informado en todo momento.

Por otro lado, la variable “giro competición”, será accionada con un valor u otro dependiendo de que tipo de conexionado se de en los variadores de frecuencia, como se verá en el siguiente punto.

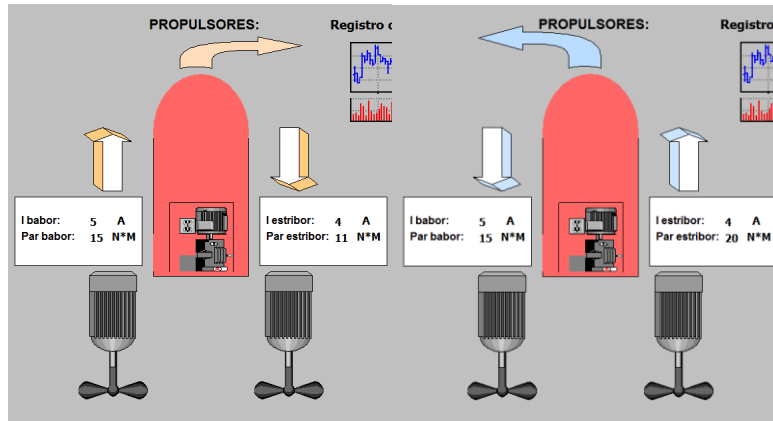


Ilustración 25 La variable "giro competición" mostrada a través de la HMI.

## 6.5.2 Control de ciaboga

Mediante Arduino se ha creado un panel de control, constando de un joystick, dos botones pull-up, tiristores, fuente de alimentación de 9 V, dos relés y resistencias, además de una fuente de 5 Vcc para alimentar a los relés y no sobrecargar de esta forma la placa del Arduino.

El control funcionara de la siguiente manera:

Tabla 5 Tabla de requisitos para el control de la ciaboga.

Dirección de la rotación	Borne alimentado del variador "Br"	Borne alimentado del variador "Er"	Sentido rotación de los propulsores
Rotación hacia derecha	1LI1 ( Es un contacto NC)	2LI2 ( Es un contacto NA)	↑ ↓
Rotación hacia izquierda	1LI2 ( Es un contacto NA)	2LI1 ( Es un contacto NC)	↓ ↑
Recto (No rota)	1LI1 ( Es un contacto NC)	2LI1 ( Es un contacto NC)	↑ ↑

Dado que el control se realizara por medio de relés, los cuales trabajan con un rango de activación de 3-6 VDC y soportan unos 10A a 30 VDC, estos trabajarán bien con los 24 VDC de señal para los variadores de frecuencia.

Como figura en la tabla anterior, 1LI1 ira conectado al borne NC del relé de mando Br, mientras que 1LI2 va conectado al borne NA de este relé. De la misma forma está conectado el relé asociado al mando del variador de frecuencia "Er".

Al disponer de dos botones en el panel de control, podemos asociar cada uno a un sentido de rotación de la embarcación. Tal y como se representa en la siguiente gráfica.

Tabla 6 Botones a presionar y sentido de giro de la ciaboga.

Botón presionado	Sentido de ciaboga	Estado Pin 8	Estado pin 7
Derecho	Derecha	Low (NC)	High(NA)
Izquierdo	Izquierda	High(NA)	Low (NC)
Ninguno	Recto	Low (NC)	Low (NC)

De esta forma, se controla el sentido de giro que los variadores proporcionan a los motores asíncronos. Siendo el conexionado el siguiente:

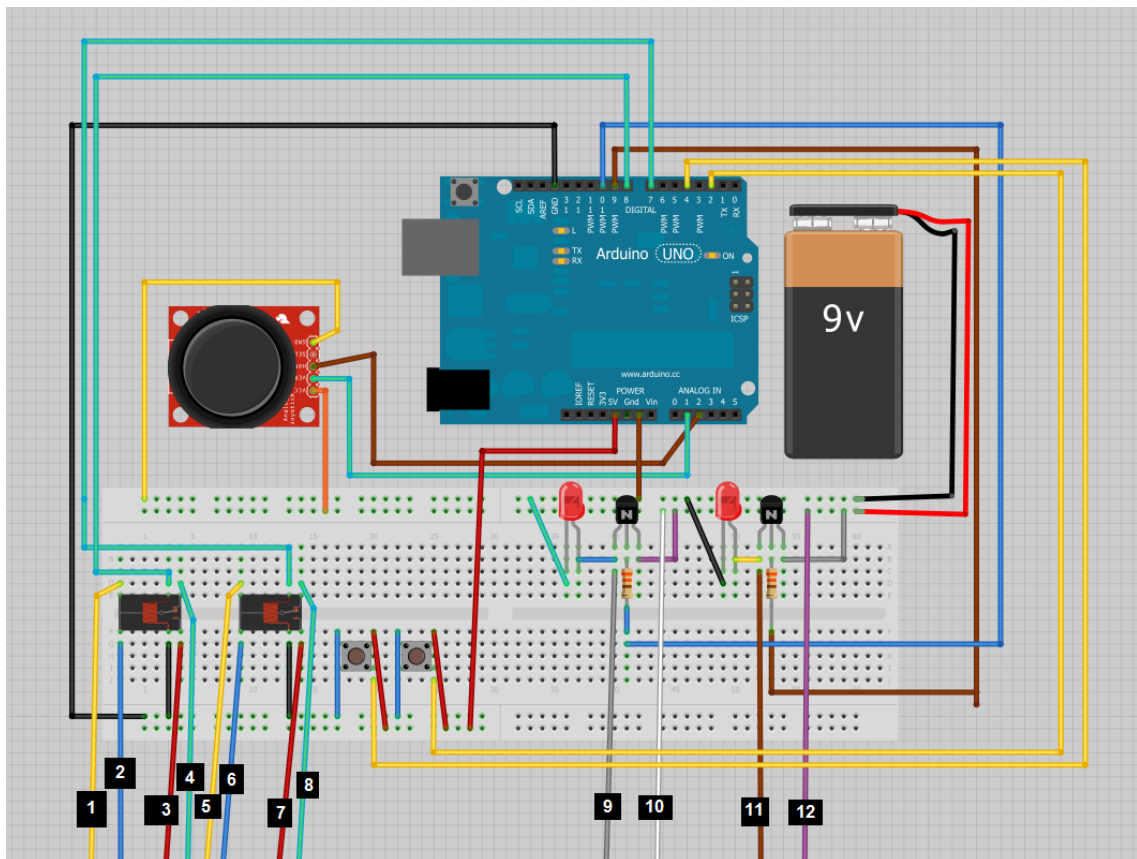


Ilustración 26 Esquema de conexionado

Esquema de conexionado de los componentes necesarios para el control de la ciaboga, a través del entorno de desarrollo de Arduino (IDE).

Los puntos 9, 10, 11, y 12 serán exactamente iguales que los anteriores. Los puntos 2y 6 irán al conexionado de 24 VDC de los variadores de frecuencia. Por otro lado, 5 y 1 irán a sus respectivos negativos de dichos variadores. Mientras que la orden de activar los relés se darán por medio de los pines digitales 8 y 7 del Arduino.

El control de velocidad a la que se efectúa la ciaboga se realizara del mismo modo en que se controlaba la velocidad de los propulsores en el caso anterior, mediante el Joystick instalado. Una vez pulsado un botón u otro, mediante los potenciómetros del Joystick, proporcionamos un rango de 0 a 10 VDC a los variadores de frecuencia, girando estos a unas velocidades en proporción a la señal recibida.

## 6.5.3 Otras aplicaciones de “Arduino”

### 6.5.3.1 Medición de intensidades.

Otra aplicación desarrollada en este proyecto mediante “Arduino”, es la medición de intensidades de línea, tanto en el grupo electrógeno como en los motores de propulsión asíncronos. Esto permite conocer el estado de ambos equipos y al mismo tiempo, mediante el programa realizado con Step 7, permite alertar al operario de la embarcación de averías/fallos tales como problemas en cortocircuitos, fallos de aislamiento o de funcionamiento. Permitiendo alertar de la necesidad de mantenimientos preventivos cuando estos valores indiquen un funcionamiento no habitual o simplemente detectando fallos cuando se produzcan.

Dado que el sensor usado en nuestro caso es el ACS712ELCTR-20A-T y este mide hasta 20A con valores negativos o positivos, necesitamos de la utilización de transformadores de tensión y shunts, para primero reducir los valores de tensión y luego obtener valores proporcionales de intensidad con sus correspondientes shunts. Esto se efectuara con el equipo de medida que se ha realizado externamente al equipo de control/propulsión de la embarcación. Una ventaja es que son sensores de intensidad para 20A DC o AC, con lo cual estos no se saturan al usar intensidades continuas como pasaría con los shunts u otros equipos de medición.

Además, tener en cuenta que cuando no exista corriente se obtendrá la mitad de la tensión de alimentación del sensor, en nuestro caso  $5V/2=2.5V$  y que la sensibilidad de este es de  $100mV/A$ . Por lo que para obtener los valores de intensidad de forma directa mediante Arduino tendremos que programar en este la siguiente fórmula:

$$A = \frac{0.0049 * units - 2.5}{0.185}$$

Siendo 0.0049 los voltios que obtendremos de cada incremento, entre 0V y 5 V de alimentación se tienen que cubrir de 0-1023 niveles.

Con todo esto, y gracias a los tres sensores de intensidad instalados, podremos registrar los valores de intensidad que proporcionan las tres líneas del grupo electrógeno.

### 6.5.3.2 Giroscopio y acelerómetro.

A la hora de seleccionar los sensores de giroscopio y acelerómetro, se escogió el módulo MPU6050. El cual, tras incluir un filtro, seguía dando variaciones extremadamente grandes en sus seis sistemas de referencia, siendo este inestable para cualquier proceso de control. Dado que para el mínimo toque o variación de posición, este módulo presentaba valores de pico excesivos, de los cuales no se podía obtener información fiable para que una CPU pueda tomar una acción acertada en función de las condiciones externas. Además, se partía de un valor inicial de ángulo de 500°, cuando lo esperado sería partir de un valor de 0°.

### 6.5.3.3 Medición de temperatura.

El control de la temperatura también es un factor importante a la hora de evitar fallos en los equipos o de alertarnos de estos antes de que se produzcan más daños. Por lo que también se ha realizado una implementación en Arduino para el control de esta variable.

En este caso no se ha instalado ningún equipo que refrigere el grupo electrógeno en caso de que la temperatura supere cierto valor, pero podría implementarse para instalaciones más grandes.

Lo que si que permite es avisar al operario mediante una alerta en la HMI, cuando se supera cierto valor de temperatura y registrar estos valores mediante gráficas, las cuales el operario podrá visualizar a través de dicha HMI. Para que el operario pueda actuar en consecuencia, realizando un mantenimiento preventivo o parando la instalación si lo considera oportuno.

## **7 Lógica programada**

### **7.1 Prestaciones a la hora de automatizarla.**

En este proyecto se propone la automatización de la embarcación Ras, por un lado para ampliar las prestaciones de esta, y por otro lado, para servir como base a lo que podría ser una embarcación automatizada de mayores prestaciones. Con funciones tales como podría ser transporte de mercancías o salvamento y rescate, de una forma no tripulada. Esto presenta las ventajas de poder transportar material de una forma segura, eficaz y rápida, al mismo tiempo que no se pone en riesgo a ninguna tripulación en situaciones difíciles.

Por otro lado, incrementa enormemente la eficiencia de trabajos como supervisión de costas vía marítima o transporte de mercancías, ya que el operario encargado de tripular la embarcación puede controlar varias de estas al mismo tiempo dado que es un control no presencial. Haciendo factible implantar un sistema de automatización, GPS o un SCADA si se implementa este modo de transporte/ supervisión.

### **7.2 Lógica programada (Step 7).**

En este proyecto se presenta una embarcación controlada wireless mediante una interfaz gráfica, pero es la lógica programada la que se encarga de actuar conforme las órdenes recibidas y las condiciones externas.

El programa del PLC a de leer las entradas, siendo estas marcas procedentes de la HMI o señales analógicas/digitales procedentes de los sensores, los cuales nos dan información de las condiciones a las que está expuesta la embarcación. Estas señales terminaran en el PLC, el cual actuara conforme al programa que tenga volcado en él, dando valores a las variables, activando y desactivando las salidas.

Dicha lógica programada se ha realizado con Step 7, siendo este un software para programar PLC's diseñado por Siemens. A continuación se explica en grandes rasgos el programa volcado en el PLC S7 1212 C

#### **7.2.1 Uso de bloques.**

Este proyecto se realizó con 4 bloques de función, 7 bloques de datos y obviamente, un bloque principal, el cual ejecuta cíclicamente los otros bloques, guardando los datos de las variables calculadas en sus correspondientes BD.

## 7.2.2 (FB1) Control de variables.

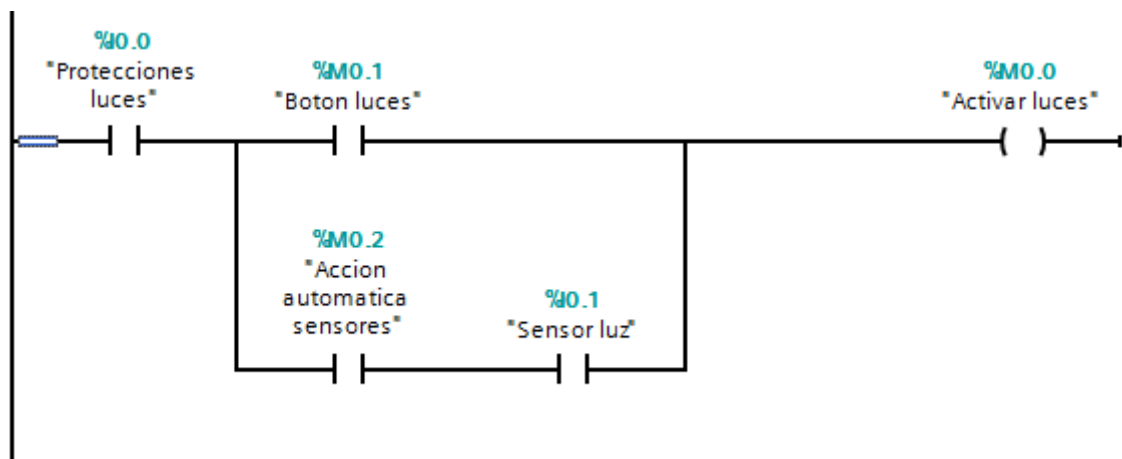
Dicho Bloque contiene diversos segmentos, los cuales explicaremos el funcionamiento de estos para un mayor entendimiento del funcionamiento de la instalación y de cómo reacciona la embarcación ante diversas circunstancias.

### 7.2.2.1 Luces.

Dado que la HMI mantiene el valor de bit a 1 para las luces, hasta que se invierte su valor cuando es accionado una segunda vez el pulsador "luces" desde la interfaz gráfica, no hace falta realimentar las bobinas de los relés de las luces. Será el propio PLC el que mediante su salida digital accione el relé dando tensión a las luces.

Las variables implicadas en la activación de la marca luces serán las siguientes:

Variables PLC					
		Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección
1		Activar luces	Tabla de variables_1	Bool	%MO.0
2		Protecciones luces	Tabla de variables e..	Bool	%IO.0
3		Boton luces	Tabla de variables e..	Bool	%MO.1
4		Accion automatica sensores	Tabla de variables e..	Bool	%MO.2
5		Sensor luz	Tabla de variables e..	Bool	%IO.1



Variables implicadas y requisitos necesarios a la hora de activar la variable "Luces".

### 7.2.2.2 Control por contactor o variador de frecuencia.

En los esquemas eléctricos, donde está actualmente el selector "S1" el cual permite las 3 posiciones "Control por variadores", "Parada" o "Control por contactores", se instalará un contactor, el cual tendrá en el conexionado NC la alimentación de la línea 61, es decir, la que



permite la activación de las bobinas KMBR y KMER para la alimentación de los motores a través de los variadores de frecuencia.

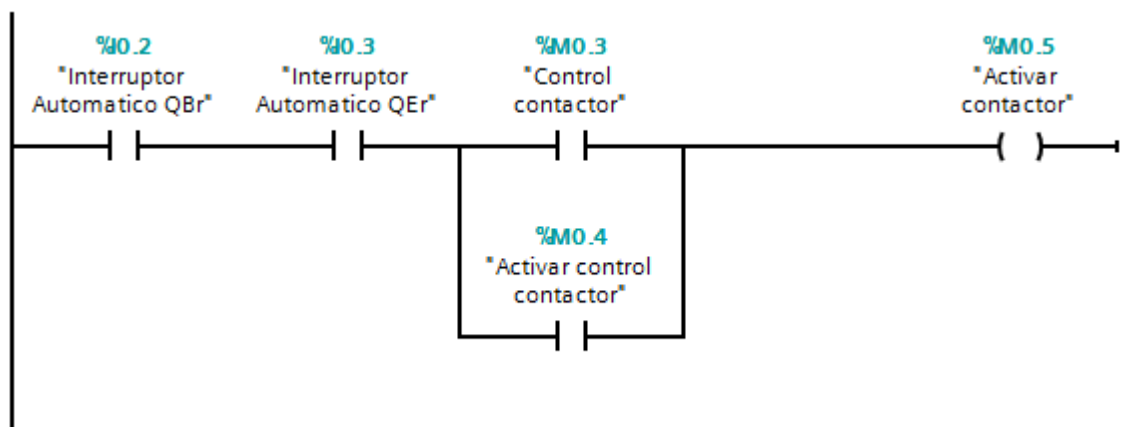
En el conexionado NA estará la alimentación de la línea 71, la cual acciona los motores a través de los contactores.

Si se quiere no perder el punto de "Parada" habría que poner una cascada de dos contactores para permitir las 3 posibilidades, aunque haremos la "Parada" con 0 V en los variadores o parando por completo la instalación, por lo que no se contemplara dicha opción.

Por otro lado comentar que estas bobinas son accionadas con poca tensión, concretamente usan un control de 12 Vcc. Por lo que no haría falta usar un contactor y simplemente una salida relé del PLC las activaría, siendo accionadas directamente las bobinas de los variadores, pero necesitando otra instalación para el accionamiento de las bobinas "avante/atrás" de los contactores. Por eso se ha realizado de esta manera.

Las variables implicadas en dicha acción serían las siguientes:

6		Interruptor Automatico QBr	Tabla de variables e..	Bool	%I0.2
7		Interruptor Automatico QEr	Tabla de variables e..	Bool	%I0.3
8		Control contactor	Tabla de variables e..	Bool	%M0.3
9		Activar control contactor	Tabla de variables e..	Bool	%M0.4
10		Activar contactor	Tabla de variables e..	Bool	%M0.5

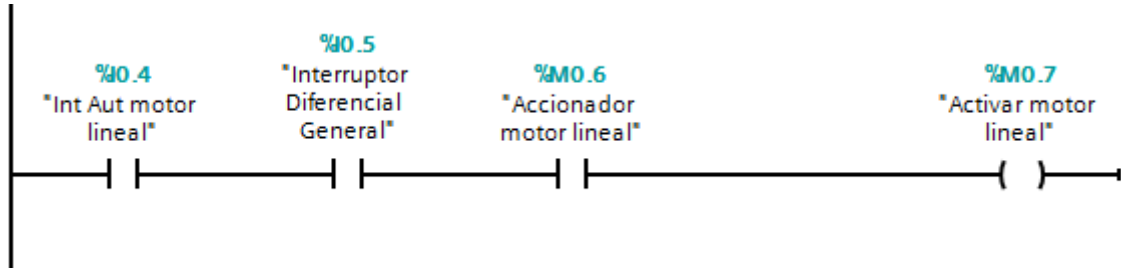


Variables implicadas y requisitos necesarios a la hora de activar la variable "Control por contactor o variador de frecuencia".

### 7.2.2.3 Activar alimentación motor lineal.

Este componente se desarrollara en un apartado específico del proyecto. En este bloque se alimentara a dicho motor lineal con una fase y neutro siempre cuando el operario accione este dispositivo, con el fin de eliminar parte del balanceo del barco mediante la compensación de cargas y variando el centro de masas de la embarcación. Las variables que toman parte en este proceso serán las siguientes:

11		Int Aut motor lineal	Tabla de variables e..	Bool	%IO.4
12		Interruptor Diferencial General	Tabla de variables e..	Bool	%IO.5
13		Accionador motor lineal	Tabla de variables e..	Bool	%MO.6
14		Activar motor lineal	Tabla de variables e..	Bool	%MO.7

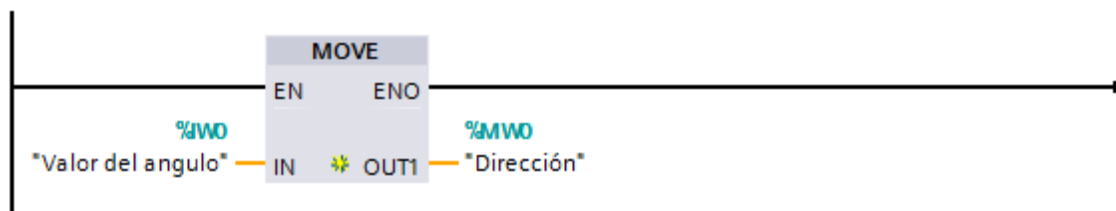


Variables implicadas y requisitos necesarios a la hora de activar la variable “Activar motor lineal”.

#### 7.2.2.4 Dirección de la embarcación.

Tal y como se desarrollara en un apartado, el giroscopio nos proporcionara la dirección que toma la embarcación mediante uno de sus seis grados de libertad. En este segmento volcaremos el valor del ángulo proporcionado por los grados que rota el Yaw o perpendicular axis, también conocida como Guiñada, en la variable "Dirección", y dicha variable será representada en la interfaz gráfica de la HMI mostrando giros de  $-60^\circ$  (Giro a izquierda),  $0^\circ$  (dirección recta), hasta giros de  $60^\circ$  (giro máximo hacia la derecha).

15		Dirección	Tabla de variables e..	Word	%MWO
16		Valor del angulo	Tabla de variables e..	Word	%IWO



Variables implicadas y requisitos necesarios a la hora de conocer la variable “Dirección de la embarcación”.

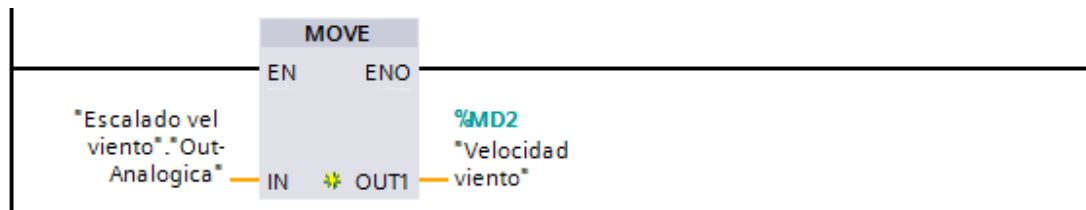
#### 7.2.2.5 Velocidad del viento en m/s.

A la hora de conocer la velocidad del viento y su dirección, algo que es imprescindible en una embarcación, necesitamos de un anemómetro y una veleta, los cuales son fáciles de encontrar con salida analógica. De hecho se encuentran multitud de equipos compactos con estos dos instrumentos y con dos salidas analógicas, una para el anemómetro y otra para la veleta, la cual ya lleva incorporada un magnetómetro.

Estos equipos se encuentran normalmente con salidas de 4-20 mA entre otras, pero el operario de la embarcación desea conocer la velocidad del viento en m/s, con lo cual, con los datos del fabricante (4 mA para 0 m/s y 20 mA para 100 m/s), realizamos un segmento en Tia Portal para relacionar la intensidad de entrada con la velocidad del viento. Además, transmitiremos este valor al HMI, para que sea representado gráficamente.

Los bloques utilizados a la hora de calcular la variable velocidad del viento son "Escalado vel viento" DB1 y el BF "Cálculos vel viento" los cuales veremos más adelante.

Al igual que ocurrirá con la marca "Dirección viento" MD4, la "Velocidad viento" MD2 es un valores reales, por lo que no puede ser una marca MW2 o MW4, deberá ser MD.



Mover información de la variable "Velocidad del viento".

#### 7.2.2.6 Escalado de la variable "velocidad del viento".

A la hora de calcular la velocidad del viento, tal y como se ha comentado, se ha utilizado el bloque de función "Cálculos vel viento" (FB2), el cual se comentara a continuación.

Título del bloque: Escalado de la Velocidad del viento

La entrada de señal del anemómetro y de la veleta es de 4-20mA, en este bloque se pretende escalar la salida, para que dependiendo de la entrada en mA que capte el PLC, este calcule la velocidad del viento y dicho valor numérico pueda ser transmitido a la HMI.

La operación es la siguiente:

$$OutAnalog = \frac{Y_{Max} - Y_{Min}}{X_{Max} - X_{Min}} \times (InAnalog - X_{Min}) + Y_{min}$$

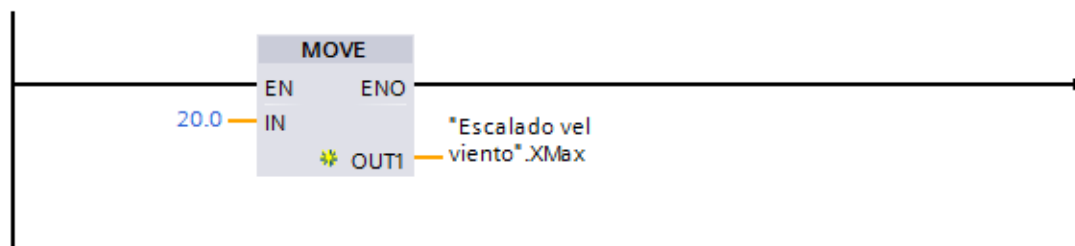
### ▼ Título del bloque: Escalado de la Velocidad del viento

- ▼ La entrada de señal del anemómetro y de la veleta es de 4-20mA, en este bloque se pretende escalar la salida, para que dependiendo de la entrada de mA que capte el PLC, este calcule la velocidad del viento y dicho valor numérico pueda ser transmitido a la HMI.

La operación es la siguiente: 
$$\text{OutAnalog} = \frac{Y_{\text{Max}} - Y_{\text{Min}}}{X_{\text{Max}} - X_{\text{Min}}} \times (\text{InAnalog} - X_{\text{Min}}) + Y_{\text{Min}}$$

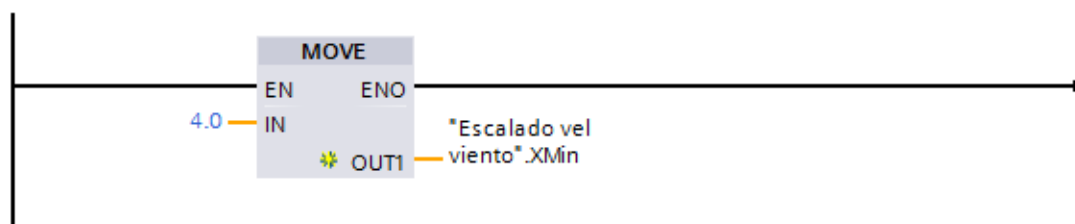
### ▼ Segmento 1: Asigno valor máximo a Xmax.

- ▼ Cargamos el valor de XMax, es el valor máximo que se dará a la entrada del PLC para una velocidad del viento de 100 m/s.



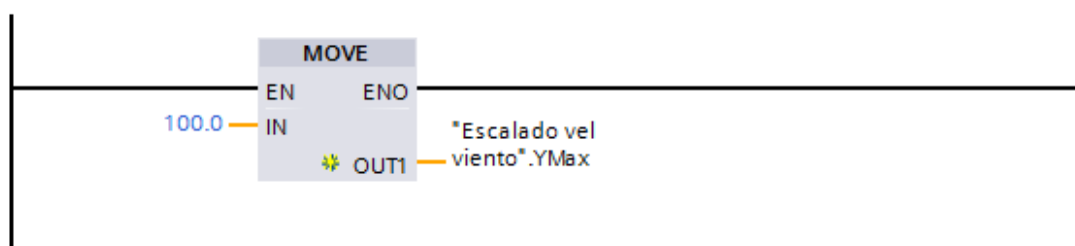
### ▼ Segmento 2: Asigno valor mínimo a Xmin.

- ▼ Cargamos el valor de XMin, es el valor mínimo que se dará a la entrada del PLC para una velocidad del viento de 0.5 m/s.



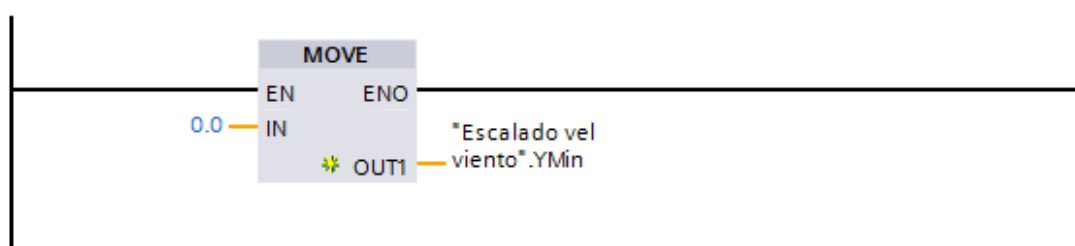
### ▼ Segmento 3: Asigno valor máximo de la velocidad del viento

Comentario



### ▼ Segmento 4: Asigno valor mínimo a Ymin.

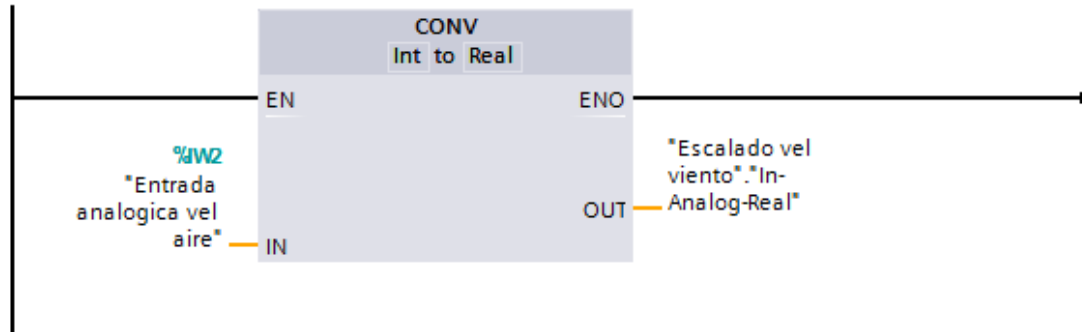
Comentario



### ▼ Segmento 5: Pasar de enteros a decimales y registrar valor

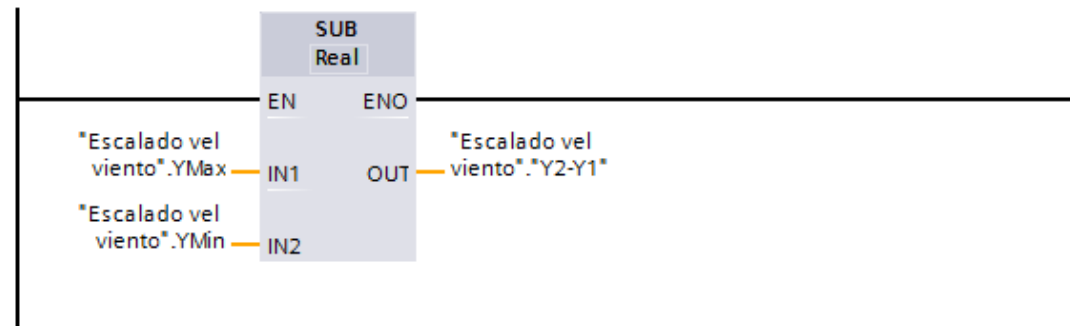
- ▼ Ahora ya tenemos la carga de los valores, para obtener el resultado de la velocidad, tendremos que pasar estas cargas analógicas a valores reales. Pasando el valor de la entrada analógica que esta en entero a decimal, para poder trabajar con el haciendo operaciones.

Además, la entrada se ha hecho con una entrada analógica de PLC, mientras que este valor se volcara en un bloque de datos "Escalado vel viento", para que dicho valor quede registrado en la memoria.



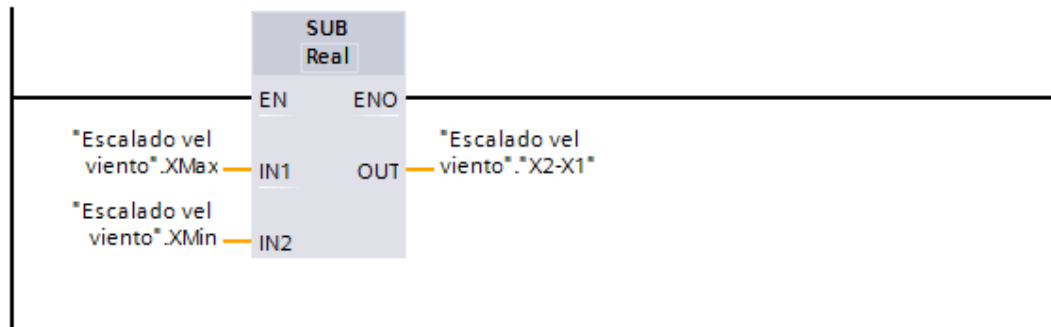
### ▼ Segmento 6: Realizamos la división.

- ▼ Comenzamos con las operaciones para escalar la velocidad del viento, los valores de cada operación serán volcados en variables almacenadas en el BD "Escalado vel viento" para que se guardadas con valor Real y permanezcan los valores en la memoria del PLC.

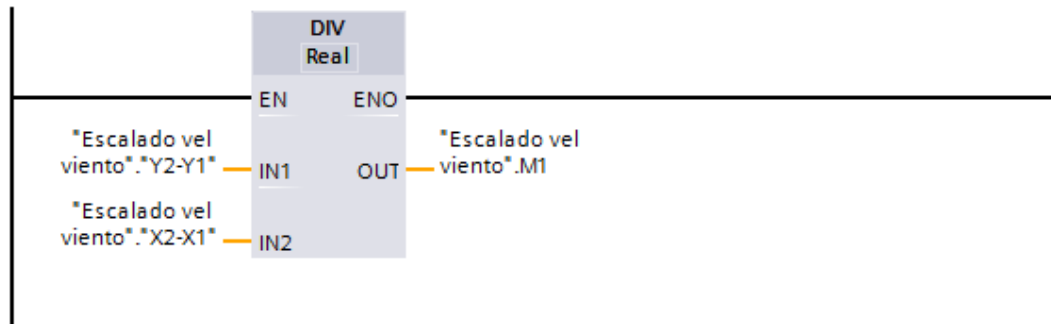


**▼ Segmento 7:** Continuación de las operaciones

Comentario

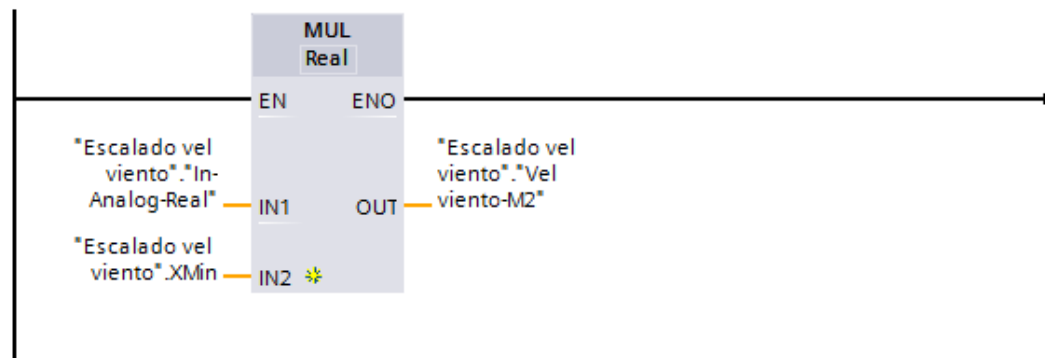
**▼ Segmento 8:** Continuación.....

Comentario



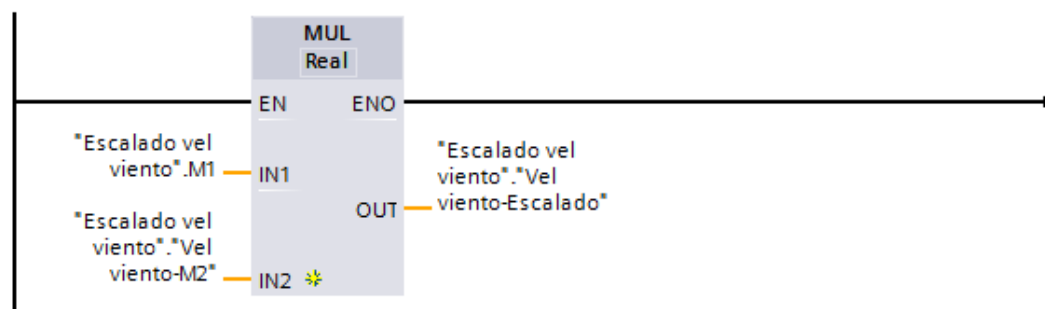
### ▼ Segmento 9: Obtención de la velocidad del viento en la variable "Out Analógica"

Ultima operación para obtener el valor de la velocidad del viento



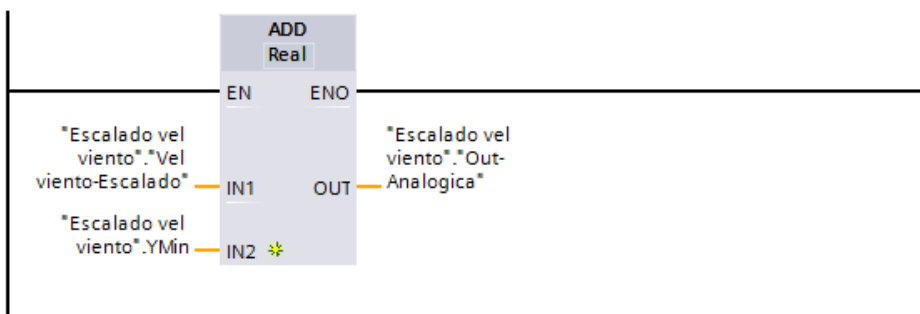
### ▼ Segmento 10: Multiplicación de valores

Comentario



### ▼ Segmento 11: Ultimo paso para obtener el valor de la velocidad del viento volcado en la variable "Out-Analogica"

Comentario



Imágenes del procedimiento de escalado de la variable "velocidad del viento".

## 7.2.2.7 "Escalado vel viento" DB1

Para calcular la velocidad del viento, se necesita también un bloque de datos asociado que guarde las variables, para que después de las operaciones efectuadas en el BF, los valores de las variables puedan permanecer en la memoria y así el PLC pueda trabajar con dichos valores.

Lancha RAS ▶ PLC\_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly] ▶ Bloques de programa ▶ Escalado vel viento [DB1]

Escalado vel viento						
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Visible en ..
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	XMax	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	XMin	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	YMax	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	YMin	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Out-Analogica	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	In-Analog-Real	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Y2-Y1	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	X2-X1	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	M1	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Vel viento-M2	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Vel viento-Escalado	Real	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Ilustración 27 Imagen del BD para el escalado de la velocidad del viento.

### 7.2.2.8 Dirección del viento.

La veleta tiene una señal de 4-20 mA con una posición absoluta de la dirección gracias al magnetómetro incorporado. Esta señal será introducida en el PLC y mediante el BD "Dirección del viento" y el BF "Cálculos dirección viento", obtenemos dicho valor numérico en formato real, volcando este en el bloque de marca para ser enviado a la HMI de forma numérica.

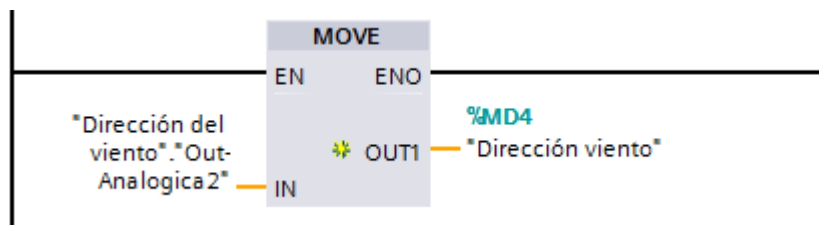


Imagen de la adecuación de información en el PLC para la variable "Dirección del viento".

El procedimiento de cálculo para dicha variable será el mismo que hemos efectuado para la variable "Velocidad viento".

En el FB3 "Cálculos dirección viento" Efectuamos los mismos pasos, pero esta vez la dirección del viento vendrá dada en grados. Por lo que la señal de 4-20 mA tendrá que representar los 360º posibles. Esto se calculara con su BD correspondiente.

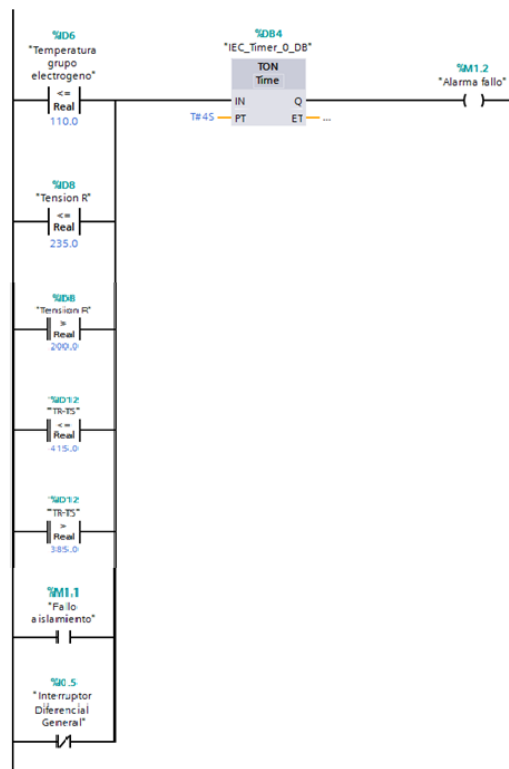
### 7.2.2.9 Alarma de fallo.

Para activar la variable "Alarma fallo" es necesario que ocurra una y solo una de las condiciones que se exponen, pero esta ha de durar de forma ininterrumpida más de 4 segundos. Esto evita que cargas puntuales hagan fluctuar la tensión e intensidad y disparen dicha alarma.












Las condiciones para activar la variable y por tanto la alarma en la HMI son las siguientes:

- Las tensiones de la línea R en este caso, no han de estar ni muy por encima ni por debajo de cierto valor límite.
- Al igual pasa con las intensidades de las líneas, que son restringidas por la variable "Fallo aislamiento", por lo que si esta se activa, también activara la "Alarma fallo".
- La elevada temperatura del grupo electrógeno también detonara la alarma.
- Por último, en caso de que salte el interruptor diferencial general, también indicara la HMI fallo en la instalación.



Variables implicadas y requisitos necesarios a la hora de activar la variable "Alarma de fallo".

Esta alarma de fallo se ha configurado con las variables 21, 22, 25 y 12, pero podríamos efectuar otras configuraciones combinando las líneas de tensión "S" y "T". Lo mismo que podríamos combinar estas con las variables de intensidad.

21		Temperatura grupo electrogeno	Tabla de variables e..	Real	%ID6
22		Tension R	Tabla de variables e..	Real	%ID8
23		Tension S	Tabla de variables e..	Real	%ID9
24		Tension T	Tabla de variables e..	Real	%ID10
25		TR-TS	Tabla de variables e..	Real	%ID12
26		TR-TT	Tabla de variables e..	Real	%ID14
27		TS-TT	Tabla de variables e..	Real	%ID16
28		IR	Tabla de variables e..	Real	%ID18
29		IS	Tabla de variables e..	Real	%ID19
30		IT	Tabla de variables e..	Real	%ID20
31		Fallo aislamiento	Tabla de variables e..	Bool	%M1.1
32		Alarma fallo	Tabla de variables e..	Bool	%M1.2
12		Interruptor Diferencial General	Tabla de variables e..	Bool	%I0.5

Variables para configurar las diferentes alarmas que se crean oportunas.

Un ejemplo de las posibles variables a combinar para que la alarma salte si una de estas variables presenta un valor por encima o por debajo de cierto rango.

### 7.2.2.10 Fallo aislamiento

Para activar la variable "Fallo aislamiento", es necesario que ocurra una y solo una de las condiciones que se exponen, pero esta ha de durar de forma ininterrumpida más de 4 segundos. Esto evita que cargas puntuales hagan fluctuar la Intensidad y disparen dicha alarma.

Al igual que la variable "Alarma fallo", esta se programara con condiciones en paralelo.

### 7.2.2.11 Freno competición

El variador funciona con 0-10 VDC de señal, además, la entrada de tensión en el bornero 1L1 del variador hace que el motor trifásico asíncrono vaya hacia delante y la entrada de tensión en el bornero 1L2 hace que el motor gire en sentido inverso, causando en la embarcación que esta vaya hacia atrás. Por lo que la lancha frenara si esta se encuentra en movimiento y puntualmente se alimenta a 24 Vcc el bornero 1L2 además de dar una señal mayor de 0 V a los variadores en un mismo instante.

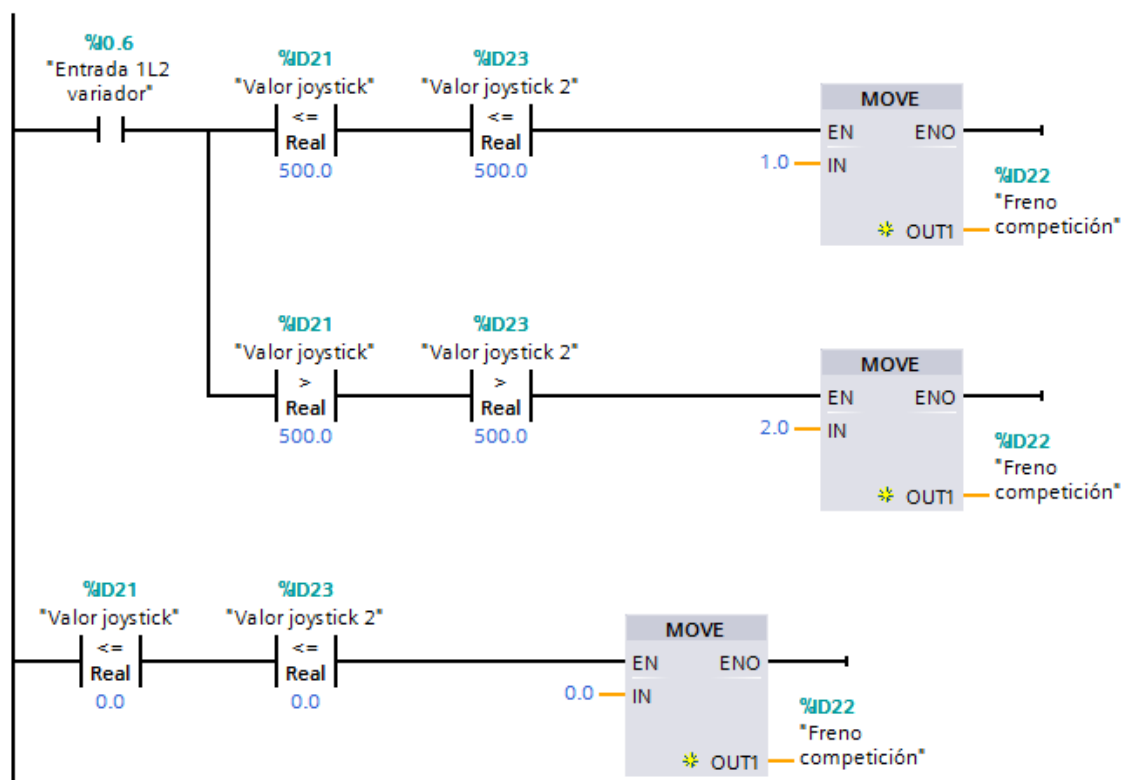
Por otro lado, los dos potenciómetros del joystick permiten un valor de 0 a 1024 en función de la posición que el operario le dé. En proporción a este valor del Joystick se obtiene una salida analógica hacia los variadores de 0 a 10 Vcc, tal y como se verá en otro apartado. Con lo que podemos relacionar el valor 0 del potenciómetro a la situación de no propulsión de la lancha, sin importar si la alimentación de 24 Vcc se está dando en el bornero 1L2 o L1.

La situación de frenado moderado se dará siempre que la conexión 1L2 esté siendo alimentada con 24 Vcc y los dos potenciómetros (derecha e izquierda) del joystick al mismo tiempo presenten valores entre 0 y 500.

Por último, la situación de frenado intenso se dará cuando se cumplan las mismas condiciones que para frenado moderado pero con valores mayores que 500 para los potenciómetros del joystick, pudiendo llegar estos hasta valores de 1023.

En la HMI aparece la variable "Freno competición" con un 0 para el no frenado, un 1 para frenado moderado y un 2 para frenado intenso, con sus respectivos avisos visuales.

Por lo que según los valores obtenidos de los potenciómetros del joystick y la activación de la bobina del contactor que alimenta a 1L2, se puede saber con qué intensidad están girando las hélices en sentido contrario y por lo tanto, saber con qué intensidad está frenando la instalación o si no lo está haciendo.



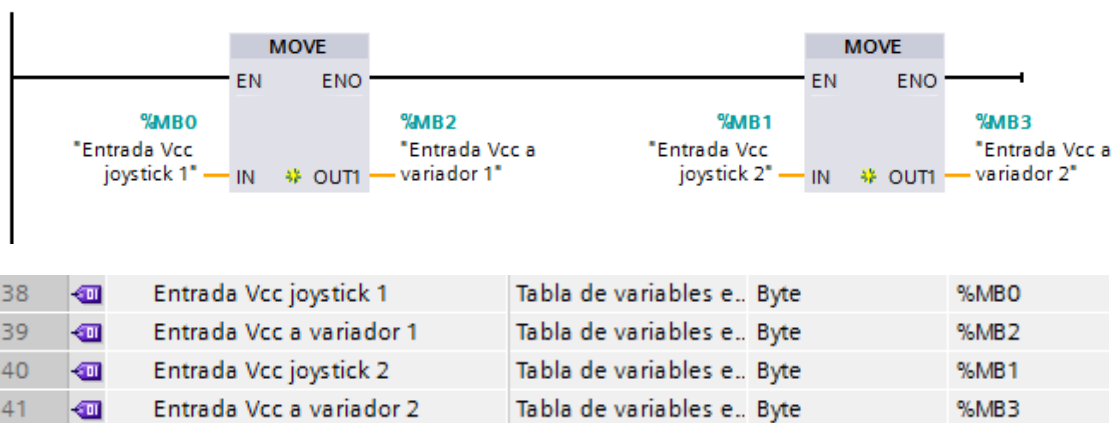
34		Entrada 1L2 variador	Tabla de variables e..	Bool	%I0.6
35		Valor joystick	Tabla de variables e..	Real	%D21
36		Freno competición	Tabla de variables e..	Real	%D22
37		Valor joystick 2	Tabla de variables e..	Real	%D23

Variables implicadas y requisitos necesarios a la hora de activar la variable "Freno competición".

### 7.2.2.12 Control de propulsión

En este segmento se controlara la velocidad de giro y por lo tanto el par proporcionado por los motores de propulsión. Dado que el variador de frecuencia guarda una señal de 0 V para una velocidad de 0 rpm y de 10 V para su máxima velocidad de rotación, variando el potenciómetro instalado por..., el cual es representado en los esquemas eléctricos, el operario podrá variar la velocidad a la que se mueve la embarcación.

Por otro lado, mediante el joystick, una fuente de alimentación y los tiristores, suministraremos dos fuentes variables de tensión de 0 a 10 VDC, siendo estas las consignas para regular la velocidad de los dos motores asíncronos. Por lo que nuestro PLC únicamente tendrá que captar esta señal a través del Router y regular dos de sus salidas analógicas en función de las dos variables de entrada introducidas por el Joystick. Por lo que necesitaremos dos salidas analógicas del PLC de un rango de 0 a 10 VDC que irán en el conexionado eléctrico 2A1 (variador de velocidad Er) y 1A1 (variador de velocidad Br).



Variables implicadas y requisitos necesarios a la hora de activar la variable “Control de propulsión”.

### 7.2.2.13 Encendido de la instalación

Este segmento se encarga de encender la instalación en caso de que se accione dicho pulsador, además de mantenerla en un determinado punto de trabajo hasta que se ordene lo contrario.

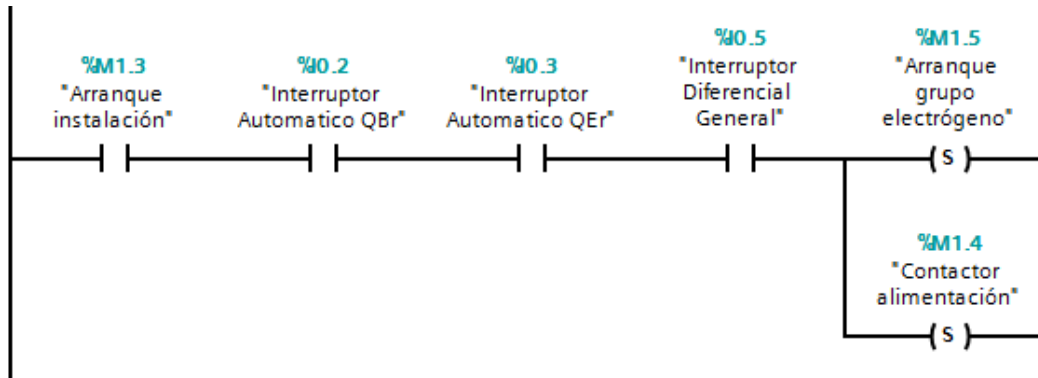
Las condiciones para permitir la alimentación a motores, equipo de control, etc., son las siguientes:

- El Interruptor diferencial no tiene que haber saltado.
- El Interruptor automático QEr y QBr no tienen que haber saltado.

Que se accione el pulsador arranque Instalación.

El interruptor diferencial general o los interruptores automáticos se cablean NC por temas de seguridad, en caso de fallo estos abrirían el circuito, por tanto, en la lógica programada estos circuitos son contactos abiertos.

En este caso, el arranque del grupo electrógeno se debe realizar solo una vez, en cambio, se debe activar de forma permanente la variable "Contactor alimentación", para que el contactor quede activado hasta que se desee lo contrario, por lo que usamos la función SET.



51		Contactor alimentación(1)	Tabla de variables e.. Bool	%Q0.3
52		Arranque grupo electrógeno(1)	Tabla de variables e.. Bool	%Q0.4
42		Arranque instalación	Tabla de variables e.. Bool	%M1.3
6		Interruptor Automatico QBr	Tabla de variables e.. Bool	%I0.2
7		Interruptor Automatico QEr	Tabla de variables e.. Bool	%I0.3
12		Interruptor Diferencial General	Tabla de variables e.. Bool	%I0.5

Variables implicadas y requisitos necesarios a la hora de activar la variable "Encendido de la instalación".

#### 7.2.2.14 Paro de emergencia.

En caso de necesidad o fallo, la embarcación tendrá que parar su funcionamiento. Se instalara un pulsador para que en caso de necesidad o emergencia, la embarcación apague el equipo electrógeno y asegure el corte del suministro eléctrico al resto de componentes.

Se podría seguir controlando la embarcación con la implantación de un SAI o batería, que suministre energía al PLC y router entre otros después del corte de energía por parte del grupo electrógeno, pero este proyecto no se desarrollara en este campo.

## 7.3 (FB4) Marcas-Act salidas

En este bloque se activaran las salidas físicas del PLC S7 1212 que correspondan a sus respectivas marcas internas, por lo que el título del bloque será "Activación de las salidas por medio de las marcas". En este caso se utilizan las marcas para permitir mayor flexibilidad a la hora de programar el PLC, dado que estas nos dan la posibilidad de memorizar un estado en la evolución de la lógica programada.

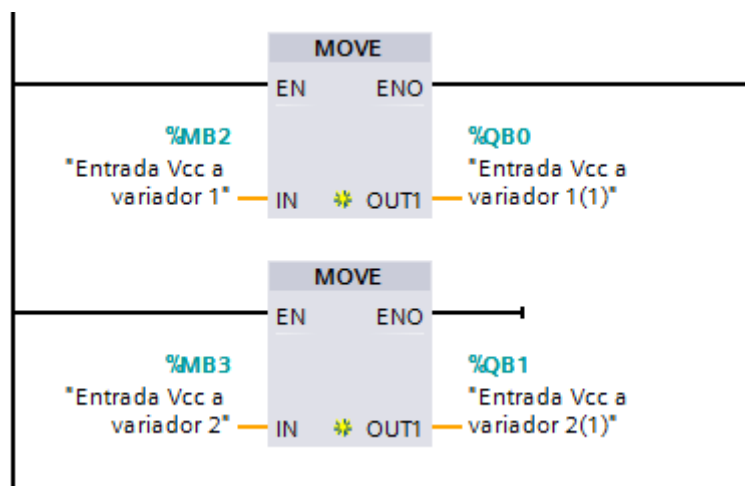
Las salidas físicas que se activaran en consecuencia de la activación de sus correspondientes marcas serán las siguientes, las cuales se explicaran a continuación:

46		Activar luces(1)	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.0
47		Activar contactor(1)	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.1
48		Activar motor lineal(1)	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.2
49		Entrada Vcc a variador 1(1)	Tabla de variables e..	Byte	%QB0
50		Entrada Vcc a variador 2(1)	Tabla de variables e..	Byte	%QB1
51		Contactor alimentación(1)	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.3
52		Arranque grupo electrógeno(1)	Tabla de variables e..	Bool	%Q0.4

Marcas que activaran sus correspondientes salidas

Las variables de salida Activar luces (1), Activar contactor (1), Activar motor lineal (1), Contactor alimentación (1) y Arranque grupo electrógeno (1) corresponden a salidas físicas de relé del PLC.

Por otro lado tenemos las salidas 49 y 50, que corresponden al control de velocidad de giro de los propulsores y las cuales comentaremos a continuación.



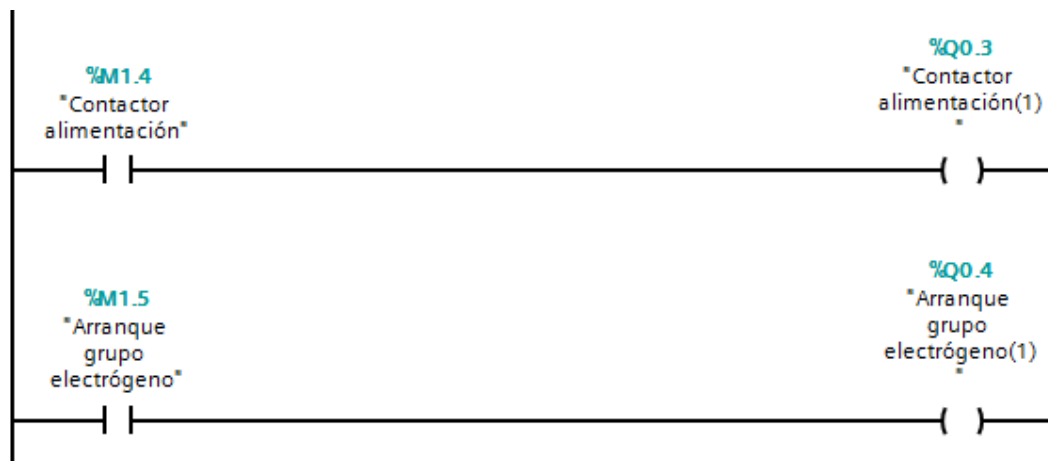
Bloques de movimientos de datos en el PLC para activar las salidas.

Dicho segmento asocia las Marcas de Byte a las salidas analógicas de Byte del PLC.

El Joystick dispone de dos potenciómetros, estos regulan de forma directa la tensión de entrada a los variadores de frecuencia en caso de que la instalación se haga in situ. Efectuándose gracias a una fuente de alimentación de 10 voltios y dos tiristores, para regular desde un procesador con el Joystick que tensión suministramos a los variadores, siendo esta entre 0 y 10 Vcc.

Pero como la instalación permitirá ser wireless, esta señal entra en el PLC gracias a los Routers y a la tarjeta de red, con lo cual se contempla en el PLC en formato de Marca con una dimensión de Byte (con una sensibilidad de 39 mv, siendo 0-10 el span y 255 las opciones de rango), esta información será transmitida a la salida del PLC hacia los variadores. Con lo cual, podremos controlar la velocidad de propulsión de la embarcación.

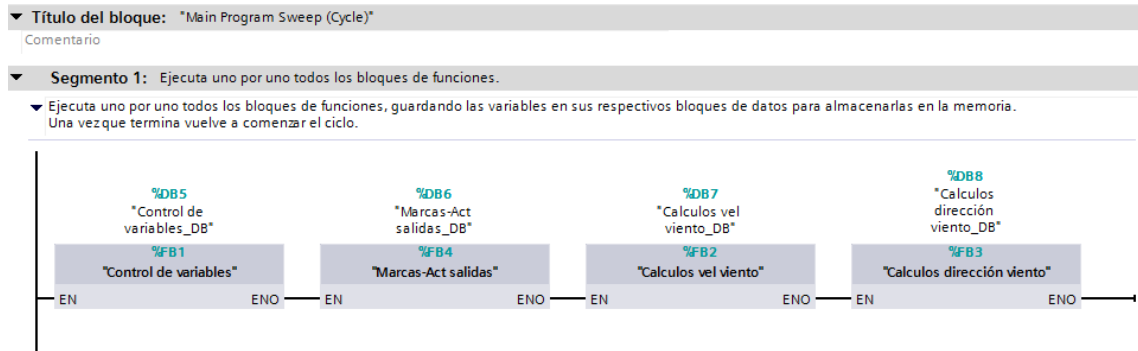
También se dispone de una seta de seguridad. Arranque y desconexión del grupo electrógeno, así como el conexionado eléctrico de la instalación.



Activación de las salidas “Contactor alimentación” y “Arranque grupo electrógeno”.

## 7.4 (OB1) Main.

Este bloque es el principal y su utilidad es hacer correr los otros bloques para de esta forma hacer un barrido de ellos periódicamente, siendo el título del bloque "Main Program Sweep (Cycle)"



Bloque principal (OB1)

Cada temporizador, escalado de variables, etc. tendrá asociado su correspondiente BD.

## 7.5 Comunicar el equipo.

Se presentan diferentes opciones de comunicar la instalación dependiendo de cuál será la aplicación. A continuación se presentarán algunas y se comentarán los campos en los que se han desarrollado.

Por un lado, tenemos el control mediante satélite. Las grandes embarcaciones que surcan los mares recorriendo grandes distancias utilizan esta forma de comunicarse, al igual que los barcos de vela que dan la vuelta al mundo, etc. Este sistema de comunicación ha sido bien desarrollado por unos pocos fabricantes, siendo el sistema más complejo, pero al mismo tiempo, siendo el más eficaz, ya que no presenta restricciones tan limitadas en cuanto a cobertura de la señal.

Con este sistema se abarcan grandes distancias y dependiendo de la posición en la que estemos, transmitirán las señales diferentes satélites según con qué compañía hayamos contratado el servicio.

El lado negativo es que es un sistema con un precio muy elevado, ya que es complejo y está bien desarrollado por pocos, con lo cual, las restricciones serán elevadas a la hora de instalar este sistema por nuestra cuenta, además de presentar un nivel alto de complejidad.

Una configuración que podría darnos una mayor distancia de operatividad y control, además de ser un sistema con un precio aceptable sería la siguiente.



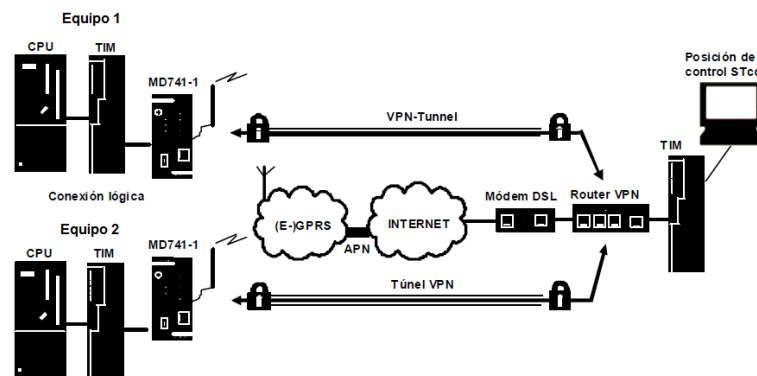


Ilustración 28 Comunicación de red mediante túnel VPN.

En esta instalación se instalaría el Router EDGE/GPRS SINAUT MD741-1 de Siemens junto al PLC en la embarcación, comunicando esta mediante un túnel VPN con el router que este en tierra, y de este obtendríamos la información en la HMI.

Este router es GPRS o wifi, y se identifica con una tarjeta sim, el problema es que se necesitaría tener cobertura de teléfono para que se puedan comunicar los equipos. Por lo que a 5, 10, 20 Km de la costa, la señal se perdería, con lo cual, perderíamos el control de la embarcación.

Tendríamos que ver que compañía telefónica trabaja en dicha área y a que distancia proporciona cobertura. Obteniéndose este dato de la página web de la compañía telefónica. Por ejemplo, Amena usa las antenas de Orange, pues en este caso se entra en la web de Orange y se comprueba el mapa de cobertura para la zona en la que se hará servir la instalación.

En caso de decantarse por esta opción, Siemens, Schneider, etc., nos daría soporte técnico para ponerlo en marcha. Estaríamos comunicando un Scada con el PLC mediante 3G o 4G.

El equipo propuesto para este tipo de instalación, el router EDGE/GPRS SINAUT MD741-1 convierte una señal Profinet en GMS y viceversa. La mayor dificultad sería crear el túnel VPN, ya que requiere de conocimiento altos de informática. Desde este túnel VPN se accederá al PLC desde el Scada, dado que la funcionalidad del túnel es vincular los equipos.

También existe un módulo GPRS para el PLC de Siemens S7-1200, este es el CP1242-7 GPRS. Esto significa "Global System for Mobile Communications" y una de las ventajas que posee es la capacidad de roaming internacional, permitiendo tener el mismo número telefónico en más de 159 países, y gracias a la tecnología satelital GSM, podremos controlar la instalación en lugares donde no cuentan con ningún tipo de telefonía o manera de comunicarse.

Otra opción es comunicar la instalación mediante Wifi, esta sería la forma más fácil y económica, en la cual el router wifi iría instalado en el barco y el PC con el Scada iría conectado a este router. Siendo suficiente tener el mismo rango de direcciones IP, por ejemplo, el PLC sería dirección 192.168.0.1 y el Scada sería la 192.168.0.2 y al estar en la misma red,

comparten datos y se podría escribir directamente en la memoria del PLC, activar salidas, ver entradas, etc.

Este tipo de instalación estaría limitada para el control de la embarcación en una zona determinada (200 m máximo), pudiendo aumentar el área de control por medio de amplificadores de señales Wifi, pero siempre con limitaciones en cuanto al área y número de estos instalados.

## 7.6 Red interna

Aunque se presentan diferentes opciones a la hora de comunicar nuestra instalación, y cada opción se emplea para una aplicación a la hora de controlar la embarcación en concreto. Hemos decidido por centrarnos en desarrollar el control de la embarcación en una zona definida. Esto se debe a la necesidad de controlar embarcaciones en zonas como puertos, áreas de generación eólica offshore, plataformas petrolíferas, barcos de pesca, etc.

Lugares en los cuales se podría implantar la misma instalación de comunicación, para desarrollar aptitudes similares, y donde no existe un mercado específico a la hora de controlar o desarrollar dichas aplicaciones.

Esta instalación consta de dos partes definidas, por un lado, tenemos el equipo el cual estará instalado en la embarcación y el otro será el que estará fuera de esta, como podría ser en tierra, en un generador eólico, plataforma petrolífera, etc.

La embarcación dispone de un PLC, en este caso un S7 1212 de Simatic, este no dispone de conector Wifi, por lo que se usará el módulo SCALANCE W720 Client para pasar la salida/entrada Ethernet del PLC a una entrada/salida wifi.

De aquí, la señal será recibida/emitada por el PLC mediante wifi, comunicándose con la señal wifi que será emitida/transmitida por el router que estará localizado en tierra, junto al PC con la interfaz gráfica o incluso una HMI si dispone de conector al router mediante wifi.

### 7.6.1 Módulo cliente SCALANCE W720

La comunicación entre estos equipos es similar a la red de una casa habitual. Se tiene un router y a partir de este se crea una red con sus protecciones y passwords, designándose el nombre de dicha red. Pudiendo ocultarla filtrándola por MAC, introducirle algún tipo de protección, etc.

Por otro lado, tenemos que conocer a qué frecuencia trabaja nuestro router, ya que la red estará definida por esta frecuencia. Los equipos wireless con los que trabajaremos tendrán la misma frecuencia de comunicación, así como las mismas protecciones y los mismos parámetros de configuración.

El router de telefonía es el que nos da las conexiones y permite que los clientes se conecten a él. Haciendo la estación de servidor de wifi y la tarjeta W720 la que hace de módulo de cliente, transmitiendo información a velocidades de hasta 150 Mbps según el estándar IEEE 802.11n.

Una vez instalada la red, podremos comunicarnos dentro de esta con la contraseña, con dispositivos como móviles, portátiles, etc., dado que la transmisión wifi viene de fábrica en la mayoría de los casos. Pero el PLC aislado no dispone de esta, por lo que no puede comunicarse con la red

Es aquí donde entra en juego la tarjeta SCALANCE W720 Client, dado que esta permite transformar la salida Ethernet que dispone el S7 1212 a una salida wifi mediante el conexionado RJ45 del PLC. Por lo que se creara el acceso a la red interna creada, pudiendo recibir órdenes y transmitir información como los valores de las variables o incluso transmisiones de video si fuera necesario.

Uno de los parámetros más importante es la frecuencia a la que se transmite la información, si se compra un equipo en EEUU, las frecuencias a las que se transmitirá serán diferentes que en Europa, pudiendo usar frecuencias ilegales de transmisión.

En España se transmite entre 2,4GHz y 5 GHz, los routers de los hogares suelen transmitir a 2,4 GHz, por lo que en esta banda existen más señales y por lo tanto más ruido.

Para evitarlo, se aconseja comprar un equipo que transmita a 5 GHz, siendo esta frecuencia menos común, con lo cual se tendrá menos ruido.

### **7.6.2 Otras opciones.**

Otra posible opción, más flexible aunque de un coste económico más elevado, seria usar módulos ET 200SP de Simatic junto con la tarjeta W720, para crear pequeños controles wireless, los cuales irían a diferentes embarcaciones en una misma zona. Estos módulos actuarían de slaves, siendo el Master un PLC de mayores prestaciones, como el S7-313, S7-315 al cual no se le añadiría la tarjeta de cliente de red, puesto que este PLC ya la lleva incluida.

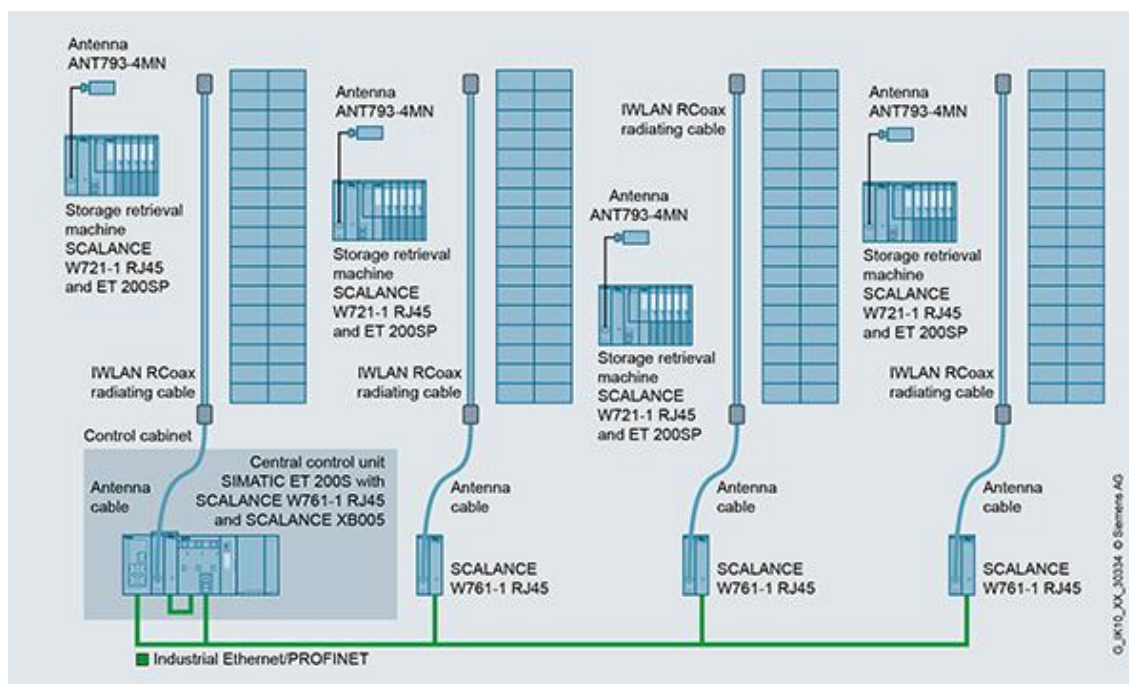


Ilustración 29 Configuración de una red mediante diversos módulos ET 200 SP

Configuración de una red mediante diversos módulos ET 200 SP, los cuales serían controlados wireless mediante una CPU, gracias a los módulos cliente SCALANCE W720.

## 7.7 Antena

Ya sea en diversas industrias o en otras situaciones, muchas veces nos encontramos con ubicaciones en las cuales las condiciones a las que están expuestos los equipos de transmisión de datos no son los más aconsejables.

Nuestra instalación no es menos, por lo que se requerirá de instalar la antena fuera de la caja que protegerá el PLC, la tarjeta SCALANCE W720 Client, los módulos de ampliación, etc.

Con esto se protegerá del salitre y las humedades o lluvia a las que estará expuesta la embarcación. Permitiendo la antena captar la señal adecuadamente, pero sin poner en riesgo el aislamiento de la electrónica.

A la hora de elegir la antena, buscaremos que trabaje en un rango de 2,4 a 5 GHz, dado que si la limitamos a un rango más definido, podríamos tener una idea a la hora de crear la red, pero podríamos terminar trabajando con una frecuencia diferente a lo inicialmente pensado, así que para darle flexibilidad, estableceremos una con un rango de 2,4 a 5 GHz.

En este caso se elegirá la ANT795-4MA de Siemens, ya que presenta compatibilidad total con el módulo W720, tanto a la hora de comunicarse como en el conexionado eléctrico. Además de ser omnidireccional, para tener una mayor área de captación de señales en todas las direcciones y no solo en una en concreto.

Por otro lado, esta presenta gran resistencia a golpes o vibraciones.



*Ilustración 30 Antena ANT795-4MA de Siemens*

## 7.8 Equipos requeridos

A continuación se exponen las diferentes entradas y salidas que se requieren del equipo de automatización, haciéndose un recuento de estas, para más tarde plantear y seleccionar los módulos de ampliación de la CPU. Estos junto con la CPU ya seleccionada, formaran el hardware de automatización.

Siendo las entradas y salidas requeridas las siguientes:

Luces: 1 DO salida relé, 2 DI.

Control contactor o variador de frecuencia: 3 DI salida relé, 1 DO.

Motor lineal: 1 DO salida relé para la alimentación del motor, 2 DI, 1 AO para el control del motor.

Dirección de la embarcación: Comunicación en serie con el giroscopio y magnetómetro mediante el puerto RS-485, a través del conexionado eléctrico RJ-45.

Velocidad del viento: 1 AI.

Dirección del viento: Al igual que la dirección de la embarcación, la dirección del viento será transmitida al PLC a través de un puerto con comunicación en serie, concretamente mediante RS-485.

Alarma de fallo: 1AI para el sensor de temperatura del grupo electrógeno, utilizando una entrada específica para sensores de temperatura que utilizan la tecnología RTD, 3 AI para la tensión R,S,T. 3AI para Ir, Is, It. 1DO para la alarma fallo.

Freno competición: 2DI (1L2 y 2L2 del variador de frecuencia). 2AI de los potenciómetros del joystick de la embarcación.

Giro ciaboga: 2DI (botones de giro a derecha o a izquierda).

Control de propulsión: 2AO (control variadores de frecuencia 0-10 VDC).

Velocidad de la embarcación: 1DI (de alta frecuencia)

Nivel de combustible: 1AI

Encendido de la instalación: 1DO para el arranque del grupo electrógeno (Accionador de arranque)

Paro emergencia: 1 DI

En total, estos suman 16 DI, 19 AI, 3 AO, 6 DO.

Por otro lado, la CPU S7-1212 dispone de 8 entradas digitales integradas en ella, con 4 de ellas con posibilidad de usarse para funciones tecnológicas HSC "High Speed Counting", 6 salidas digitales rele y 2 entradas analógicas de 0 a 10 VDC. Por lo que se requiere de módulos de ampliación para poder abarcar las salidas y entradas necesarias.

La CPU seleccionada permite hasta un máximo de 2 módulos y después de un proceso de selección, se escogerán las tarjetas a instalar.

El límite de las entradas y salidas instaladas en este PLC depende de las tarjetas que seleccionemos, dado que será el producto del número de tarjetas que se puedan pinchar por el número de señales máximas que puede tener cada tarjeta.

En realidad, el número de SM's que podremos conectar será mayor de 2, dado que estos serán conectados a través de un cable de expansión. Además, dado que instalaremos un número elevado de entradas y salidas (repercutiendo esto en un consumo eléctrico elevado), deberemos instalar otra fuente de alimentación, siendo esta conectada también a través del cable de expansión para unir los diversos componentes.



*Ilustración 31 Cable de expansión*

Como se ha comentado, se instalará un número elevado de entradas/salidas, por lo que se seleccionan las tarjetas con mayor número de posibilidades, es decir las de mayor número de DI, DO, AI y AO.

Las cuales son las siguientes:

*Tabla 7 Características de los módulos de ampliación a instalar.*

Nombre	Tipo de entrada/salida	Numero de I/O máximo por tarjeta
6ES7 221-1BFF30-0XB0	DI	8 DI
6ES7 222-1HH30-0XB0	DO	16 DO Relay
6ES7 231-4HF30-0XB0	AI	8 AI
6ES7 232-4HD30-0XB0	AO	4 AO

A continuación se procede con el cálculo del número de tarjetas que se requerirán. Dado que podría darse ampliaciones de las prestaciones proporcionadas por la instalación, esta se diseñara con más recursos de los que presenta en la actualidad, pero siempre valorando el coste económico que supone en la fabricación.

Tabla 8 Número de entradas/salidas requeridas, instaladas y utilizables para futuras instalaciones.

Entradas/Salidas requeridas	Disponibles en la CPU	Necesarias implementar con tarjetas	Número de I/O Max por tarjeta	Tarjetas requeridas	I/O libres (Ampliaciones futuras)
13 DI	8	5	8	1	3
9 AI	2	7	8	1	1
3 AO	0	3	4	1	1
5 DO	6	0	16	0	0
1 Módulo alimentación	Incorpora alimentación	1		1	0

Por lo que el número de tarjetas utilizadas serán 3, más el módulo de alimentación.

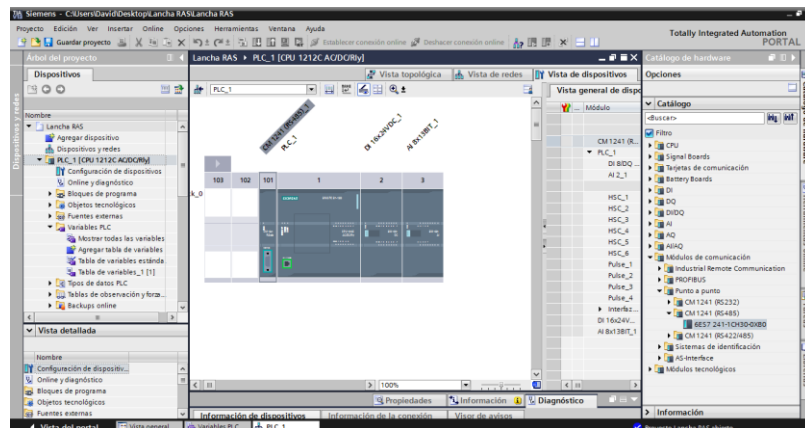


Ilustración 32 Instalación de módulos mediante el Tia Portal.

Por otro lado, se le incorporara un módulo de comunicación en serie mediante el protocolo RS-485 (comunicación punto a punto), para que se comunique el PLC con el giroscopio, magnetómetro y el indicador de la dirección del viento. Siendo dicho módulo de comunicación el 6ES7 241-1CH30-0XB0, el cual se puede observar a la izquierda de la CPU.





*Ilustración 33 Modulo de comunicación 6ES7 241-1CH30-0XB0, RS-485 (comunicación punto a punto).*

Después de lo presentado, cabe destacar que se justo al máximo las prestaciones de los equipos seleccionados, pero siempre con prudencia de que las prestaciones del PLC no sean insuficientes, por lo que se dejó la tarjeta del Signal Board sin utilizar, y en caso de que se requiera esta se implementaría.

## 8 Impacto ambiental

Una embarcación mediante propulsión eléctrica y automatizada, permitiría una reducción en el combustible fósil utilizado para muchas de las situaciones en las que las embarcaciones están expuestas. Este hecho, por un lado, reduce las emisiones de contaminantes a la atmósfera y permite un consumo energético de una forma más eficiente.

Se ha demostrado, que las embarcaciones de propulsión mediante motor de combustión, gastan hasta casi el doble de combustible cuando la variación de par es intensa, es decir, cuando hay oleaje, algo frecuente en el mar.

La instalación presentada absorberá esas demandas de par a través de un sobredimensionado del alternador y reducirá considerablemente el combustible utilizado, con lo que reducirá las emisiones de gases como el dióxido de carbono, dióxido de azufre y nitrógeno, que se emite al quemarse la gasolina.

Para la siguiente composición de gasolina:

Carbono 85.0%; Hidrogeno 13.0%; Azufre 1.4 %; Oxigeno 0.0%; Nitrógeno 0.6%;

La cantidad de gases emitidos por kg/combustible según Carles Bou es la siguiente:

Tabla 9. Emisión de gases contaminantes

Element de combustió	Contingut
CO <sub>2</sub>	$1.5867 \frac{m^3 CO_2}{kg \text{ benzina}}$
H <sub>2</sub> O	$1.4560 \frac{m^3 H_2O}{kg \text{ benzina}}$
SO <sub>2</sub>	$0.0098 \frac{m^3 SO_2}{kg \text{ benzina}}$
N <sub>2</sub>	$8.786484 \frac{m^3 N_2}{kg \text{ benzina}}$

Por otro lado, para determinar el ahorro de combustible frente a una embarcación de propulsión más convencional, haría falta una comparación empírica para diversas situaciones, algo que queda fuera del alcance de dicho proyecto.

## 9 Presupuesto

### 9.1 Estudio de Viabilidad.

El estudio de viabilidad de una embarcación híbrida mediante propulsión eléctrica se realizará desde el punto de vista técnico y económico.

#### 9.1.1 Viabilidad técnica.

El proyecto presentado acerca de una embarcación híbrida automatizada no presenta dificultades técnicas en los equipos a emplear. Por otro lado, en el estudio de viabilidad, este se presenta como un proyecto para fabricar en cadena, para que se abaraten costes. El motivo está claro, la propulsión de embarcaciones abarca un mercado amplio, desde la pesca hasta deportes recreativos o instalaciones para el turismo. Por otro lado, la automatización de las embarcaciones las dota de aplicaciones que pueden ser prácticas en ámbitos diferentes.

En el apartado de viabilidad, la producción en cadena se estudiara para un mismo equipo, el presentado en este proyecto con sus respectivas características técnicas, estando compuesto por el grupo electrógeno, los propulsores, el equipo de control y el de automatización.

Pero en la realidad, se podría comercializar equipos de diferentes potencias para embarcaciones de diferentes tamaños y prestaciones, llegando a un mercado mucho más amplio al cual se accedería sin suponer un aumento excesivo de coste en una inversión inicial. Debido a que el software de la HMI así como el del PLC serían los mismos. También sería el mismo hardware de control, panel con los variadores de frecuencia, indicadores y conexión eléctrico. Lo único que requeriría cambiar sería el grupo electrógeno y los propulsores asíncronos, así como ajustar las protecciones en el rango en el que trabaje el equipo.

Pudiendo de esta manera fabricar diferentes instalaciones para obtener diferentes prestaciones, acordes con la embarcación a propulsar. Pero como se ha comentado, en este proyecto se hará un estudio de viabilidad exclusivamente para los equipos aquí presentados, dado que de otra forma, se requeriría de un estudio de mercado tan vasto que se escapa de la naturaleza de dicho proyecto.

En cuanto a los requisitos físicos necesarios para implantar esta tecnología, estos serían los mismos que se necesitarían para instalar un equipo de propulsión por combustión. Debido a que el aumento de espacio requerido para la instalación de equipos eléctricos se compensa con la flexibilidad que proporciona la ausencia de ejes de transmisión y reductores de potencia.

Por otro lado, la instalación se realizara bajo pedido, con lo cual, con los planos eléctricos proporcionados en este proyecto y con los software que han sido desarrollados, solamente se requeriría de un operario capaz de realizar la estructura física del panel y que posteriormente siguiera el conexionado eléctrico de los planos. Finalmente descargara el software en el PLC e instalar la HMI en el PC o pantalla del operador

Por lo que con un técnico con conocimientos necesarios para llevar a cabo dichas tareas, esta instalación se podría fabricar en cadena, con lo que se concluye que el proyecto presentado es técnicamente viable, tanto a la hora de construir una embarcación nueva, como a la hora de reutilizar una embarcación poco eficiente y restaurar el equipo de propulsión.

## **9.1.2 Viabilidad económica**

Para poder llevar a cabo el estudio de viabilidad económica de una embarcación mediante propulsión eléctrica, se analizará el coste que supondría la implantación de los equipos requeridos en comparación con los costes de una embarcación de prestaciones similares, con un método de propulsión convencional.

Por otro lado, se requeriría de comparar estas dos embarcaciones en un uso más empírico, es decir, comparando consumos de combustible, costes de mantenimiento, etc. en el día a día para las mismas condiciones de marea y vientos, así como de cargas transportadas. Pero como es obvio, este estudio no podrá realizarse para dicho proyecto. Por lo que asumiremos el riesgo de presentar únicamente los valores obtenidos mediante cálculos con carácter académico.

### **9.1.2.1 Costes.**

En este proyecto se valorara dos aspectos o posibles situaciones de negocio.

Por un lado, se valorara la posibilidad de la compra de cascos de embarcaciones y trabajar en estos para dejar como producto final una embarcación mediante propulsión eléctrica y automatizada. El negocio no estará en la reventa de los cascos de las embarcaciones, sino en el valor añadido que se les dará.

La otra situación será que el cliente ya disponga de una embarcación, y quiera hacerla más eficiente y mejorar sus prestaciones mediante la instalación de equipos que permitan la propulsión eléctrica y automatización.

Los equipos y material a instalar, así como la mano de obra requerida, será igual para las dos situaciones, y estos requerimientos se valoraran con un carácter de fabricación en serie para la fabricación de embarcaciones automatizadas con propulsión eléctrica, con las características técnicas presentadas para este proyecto.

En este apartado, serán considerados todos los factores que intervienen elevando los costes de la nueva instalación propuesta, dichos factores se pueden distribuir de la siguiente forma.

- *Costes de los equipos de automatización.* En la instalación se adquieren equipos de control, que implican un aumento muy a tener en cuenta en el coste total de la instalación.

Dichos equipos son:

Equipo	Precio €
SIMATIC S5, perfil soporte normalizado de 35 mm, longitud 483 mm para armarios de 19". Ref: 6ES5710-8MA11	22.57€
SIMATIC S7-1200, CPU 1212C, CPU compacta, AC/DC/Relés.	271.59€
SIMATIC S7-1200, Módulo de Entradas digital SM1221, 8. Entradas digitales, 24V DC,. Entradas en sumidero o fuente. Ref: 6ES7221-1BF32-0XB0	72.86€
SIMATIC S7-1200, Módulo de Entradas analógicas, SM 1231, 8 EA, +/-10V, +/-5V, +/-2.5V, ó 0-20 mA12 bit + sign ó (13 ADC). Ref: 6ES7231-4HF32-0XB0	243.91€
SIMATIC S7-1200, Módulo de Salidas analógicas, SM 1232, 4 AO, +/-10V, 14 resolución de bit, ó 0-20 mA,13 resolución bit. Ref: 6ES7232-4HD32-0XB0	252.34€
SIMATIC S7-1200, Tarjeta de comunicación CB 1241, RS485, Bloque de bornes, Soporta Freeport. Ref: 6ES7241-1CH30-1XB0	55.30€
Cajetin electrico SIMATIC	59.86€
Sensores Oil & Gas pressure transducers. Modelo 434, Honeywell Sensing and Control. Ref: BP434 NG 6 1 AC 2AK 3D 6Z 7AD 10E	48.72€
Velocidad sensor efecto Hall, Serie SNDH-T, quadrature general industrial speed and direction sensors. Honeywell Sensing and Control. Ref: SNDH-T4C-G01	26.14€
Rueda fonica sensor efecto Hall. Honeywell Sensing and Control.	4.21€
8 unidades de sensores de corriente +/- 45 A Serie CSLH. Sensor de corriente lazo abierto. Honeywell Sensing and Control. Ref: CSLH 3A 45	8*3.60= 28.8€
Sensor temperatura serie R300. Tipo de termistor RTD. Honeywell Sensing and Control. Ref: R300-F35-M14-C	15.82€
Sensor inclinometro giscopo. Sensor Technik Wiedeman Ref: NGS2	167€
Sensor llama AB007	2.90€
Sensor luminosidad, salida rele. Ref:VT-8019	3.86€
Anemometro	47€
Veleta	93€
Cables	30€
Conectores/fijaciones/ arandeas/ tuercas, etc.	25€
Antena ANT795-4MA de Siemens.	62€
Tarjeta SCALANCE W720 Client de Siemens.	183€
5 Contactores	5*4.32=21.6€
Joystick control manilla, control operador. Honeywell Sensing and Control. Ref: 1080HD	48.38€
Interruptor/Botonera parada de emergencia. Honeywell Sensing and Control.	4.21€
Accionamientos/Interruptores automaticos/adaptadores, botoneras, etc.	105€
Mecanizado de soportes, estructuras auxiliares, etc	50€
TOTAL a precio distribuidor	1.945,07€

Equipos para la automatización de la embarcación requeridos.

Cabe destacar que estos son los precios obtenidos para el distribuidor oficial de los proveedores anteriores, en este caso, los precios fueron obtenidos para el distribuidor Iberfluid Instruments. Excepto en el caso de los materiales de Siemens, dado que Iberfluid no es distribuidor oficial de productos SIMATIC y estos productos presentan precios a nivel de revendedor.

En cualquier caso, estos precios deberían de venderse a un margen aproximadamente de 1.3 para un OEM (*Original Equipment Manufacturer*), el cual asegure una consumo x unidades al año.

Con lo cual:

TOTAL a precio OEM	1.945,07€ X 1.3= 2.528,59€
--------------------	----------------------------

- *Costes de los equipos de generación eléctrica, propulsión y panel físico de control.*

Dichos equipos son:

Tabla 10 Equipos requeridos para la propulsión eléctrica de la embarcación.

Equipo	Unidades	Precio €	Total (€)
Barras de acero, estructuras y otros materiales de mecanizado,etc.	1	150€	150€
<i>Grupo electrógeno 5,5kVA (cedido por la FNB).</i>	1	450€	450€
<i>Alternador nuevo de 8,5kVA (cedido por BOMBAS ESPA).</i>	1	500€	500€
<i>Hélices</i>	2	150€	300€
<i>Materiales para la fijación de las Hélices</i>	2	20	40
<i>Variadores ATV31 (cedidos por SEE).</i>	2	688,50	1377,00
<i>Contactores Inversores (cedidos por SEE).</i>	2	70,11	140,22
<i>Contactores Control (cedidos por SEE).</i>	2	28,29	56,58
<i>Componentes varios de los controles (cedidos por SEE).</i>	1	1463,89	1463,89
TOTAL			4.477,47 €

El precio de los equipos de generación eléctrica, propulsión y panel físico de control, fue proporcionado por la estimación del coste económico de Albert Peregrina y Carles Bou. Dado que el consumo de unidades será a nivel de OEM como se ha comentado anteriormente, el precio podría reducirse hasta un 21% de su coste inicial. Dado que se buscaría la obtención de descuentos por consumo de unidades con los distribuidores del material requerido.

Con lo cual, tendríamos un coste total:

TOTAL a precio OEM	3537,21€
--------------------	----------

- *Coste de la ingeniería.* Este es el coste perteneciente al presupuesto del proyecto, en el cual se incorporan los honorarios y los gastos indirectos de la realización.

Tabla 11 Tabla del coste de la ingeniería

Concepto	Coste (€)
Honorarios	3,050€
Gastos indirectos	85€
Coste total	3,135 €

Dicho coste asciende a 3,135 €. Con un coste de 20 euros la hora de trabajo de un ingeniero y con una duración de 152,5h, los honorarios ascienden a 3,050€.

- *Costes de la mano de obra.* Es el coste asociado a los salarios de los operarios encargados de realizar la instalación de los equipos.

Considerando que se va a emplear 3 días, con una jornada de 8 h y con la participación de dos operarios, el coste ascenderá a la siguiente cifra.

Tabla 12 Tabla del coste de la mano de obra.

Jornada	Nº jornadas	Nº operarios	Total
8 h	3	2	672 €

Se considera para este cálculo, un precio por hora de trabajo para cada trabajador de 17 €/h, con lo que el coste de la mano de obra asciende a 672 €.

- *Otros costes.* Estos costes se deben al alquiler del almacén/local, en el cual se realizaran las instalaciones de los equipos. Además de la compra inicial de herramientas.
- 

Tabla 13 Tabla de otros costes como el alquiler del taller o la adquisición de herramientas.

Concepto	Coste (€)
Alquiler del almacén/local, luz y permisos.	15.000€/año

Adquisición de herramientas y materiales para adecuar la instalación.	17.865€
---	---------

### 9.1.2.2 Beneficios.

Como se ha comentado anteriormente, los beneficios de la instalación presentada frente a una más convencional, pasan por una reducción del combustible requerido para hacer un mismo trayecto, repercutiendo este hecho en un menor desembolso económico a la hora de usar la embarcación. Por otro lado, esto evita tal y como comento Albert Peregrina y Carles Bou, una menor repercusión en el medio ambiente. Reduciendo gases invernadero y otros nocivos para el medio.

Para cuantificar los beneficios, se requeriría de comparar estas dos embarcaciones en un uso más empírico, es decir, comparando consumos de combustibles, costes de mantenimiento, etc. en el día a día para las mismas condiciones de marea y vientos, así como de cargas transportadas. Pero como ya se ha comentado, este estudio no podrá realizarse para dicho proyecto, aunque se deja abierta la opción para futuros estudios.

### 9.1.2.3 Amortización.

A continuación se presenta la rentabilidad económica de la venta del proyecto, como el VAN, el TIR y el Pay-Back.

Precio de venta unitaria, interés anual:

Precio de venta	8400	um/Tm
Interés anual	3%	

Previsiones de ventas:

AÑO	1	2	3	4	5
DEMAN					
DA	4	8	16	22	34

Costes:

UNIDAD C		
Capacidad	60	ud/año
Inversión	21000	um
C. Fijo	15000	um/año
	6737,	
C. Variable	8	um/ud



Análisis de costes para un periodo de 5 años:

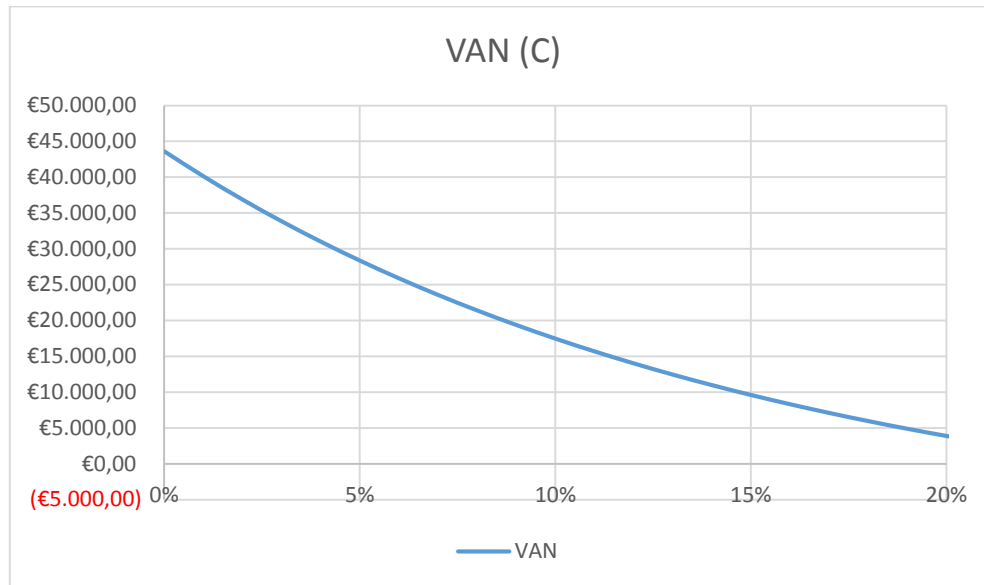
UNIDAD (CON LIMITACIÓN DE CAPACIDAD)						
GASTOS E INGRESOS	0	1	2	3	4	5
INVERSIÓN	21000	0	0	0	0	0
COSTE FIJO	0	15000	15000	15000	15000	15000
			53902			
COSTE VARIABLE	0	26951,2	,4	107804,8	148231,6	229085,2
			68902			
TOTAL GASTOS	21000	41951,2	,4	122804,8	163231,6	244085,2
TOTAL INGRESOS	0	33600	67200	134400	184800	285600
MOVIMIENTO FONDOS	-21000	-8351,2	1702,4	11595,2	21568,4	41514,8
MOV. FONDOS		-	-			
ACUM.	-21000	29351,2	31053,6	-19458,4	2110	43624,8

VAN y TIR:

VAN	TIR
34.872,89 €	24,56%

Utilizando una tasa de descuento de un 3%, que en estos momentos se podría considerar como adecuada para las condiciones indicadas. Obtenemos un valor anual neto de la inversión de 34.872,89 Euros, esto indica que la inversión necesaria para automatizar embarcaciones producirá beneficios en el futuro. Se considera un proyecto rentable, ya que el tipo de interés que hace que el van sea 0 (TIR), es de un 24.56%, siendo este muy superior al interés indicado, por lo que se puede aceptar dicho proyecto.

En cuanto al Pay-back, este se dará para un periodo de tiempo inferior a cuatro años.



*Ilustración 34 Tabla del VAN para un periodo de 5 años.*

## 10 Conclusión.

Dicho proyecto se inició en Marzo, a partir de este momento se tomó un primer contacto con el equipo, familiarizándome con los esquemas y entendiendo la instalación que el Alumno Carles Bou había dejado tras su paso, como resultado de su proyecto.

Una vez que se conocía en profundidad los distintos equipos, se procedió a la simplificación de los esquemas, eliminando elementos de medida poco seguros y fuera de normativa. También se eliminó el compensador síncrono y sus sistemas de control y medida, que anteriormente habían formado parte de la instalación.

Un exceso de confianza me llevo a tomar una decisión, que posteriormente repercutió en el sacrificio estético del equipo, además de una mayor inversión de tiempo a la hora de retornar la operatividad al equipo.

Finalmente se dejó el equipo operativo, seguro y sin elementos poco aconsejados. Recuperando la funcionalidad de este, además de mejorar su estructura mecánica, así como su maniobrabilidad a la hora de ser utilizado.

Paralelamente, se estaba diseñando un SCADA para automatizar la embarcación, mediante el diseño de una interfaz gráfica (HMI), y el desarrollo de una lógica programada que se volcaría en una CPU de un PLC, mediante el software WinCC y Tia Portal respectivamente.

Más tarde, se decidió que equipos formarían parte de la automatización de la embarcación, seleccionando tanto los equipos de control como el PLC, los equipos que permitirían la comunicación entre los diferentes componentes y los sensores que interpretarían las señales. Dando cohesión a la instalación.

Por otro lado, se realizó pruebas con sensores más experimentales y se introdujeron algunos de los sensores que la embarcación requeriría, programándolos e instalándolos mediante tecnología 'Arduino'. Así como el diseño del panel de control de la embarcación.

Por último, se realizó un estudio, para presentar dicha implementación de automatización y propulsión eléctrica como un posible negocio a tener en cuenta.

Como ampliación a dicho proyecto, se deja abierta la posibilidad de adquirir los equipos de automatización aquí nombrados y realizar la instalación empírica. Como posible mejora, se propone un mejor control de la posición dinámica de la instalación, así como la adquisición de un giroscopio con magnetómetro.

## 11 Bibliografía.

Autómatas programables. Entornos y aplicaciones. Ed. Thomson Paraninfo. 2004- Mandado Pérez y otros.

Documentación técnica del autómata ES7/12XX. Ed. Siemens. 2012. Siemens

Automatismos y cuadros eléctricos. Ed. Thomson Paraninfo. 2003. Roldán Vilorio.

### **Siemens:**

<http://www.siemens.com/entry/es/es/>

<http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/pages/default.aspx>

### **Omron:**

<https://omron.es/es/home>

Honeywell Sensing & Control:

<http://sensing.honeywell.es/>

### **Sensor technik:**

<https://www.sensor-technik.de/en/>

### **Manual de WinCC:**

<http://w3.siemens.com/mcms/human-machine-interface/en/visualization-software/scada/pages/default.aspx>

### **Manual Tia Portal:**

[http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/tia-portal/tia\\_portal/pages/tia-portal.aspx](http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/tia-portal/tia_portal/pages/tia-portal.aspx)

### **Tutoriales Arduino:**

<https://www.arduino.cc/>

<http://www.prometec.net/>

### **Trabajo final de carrera de la UPC:**

Trabajo final de carrera de Albert Peregrina y Carles Bou, puesto que se partió de la instalación que previamente ellos habían realizado.