

Estudi teòric per la integració de sensors que facilitin la monitorització d'equipament de la sala de màquines en una xarxa NMEA 2000

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:
Sergi Colomé López

Dirigit per:
Francesc Xavier Aymerich Martínez

Grau en Tecnologies Marines

Barcelona, 30 de desembre del 2020

Departament d'Enginyeria en Sistemes, Automàtica i Informàtica industrial



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat de Nàutica de Barcelona

Full de Cortesia



*“No et serà pas gens fàcil, de dictar a la teva nau el rumb
que et mení a la teva pàtria amorosa.”*

Circe a Ulisses.

L'odissea. Adaptació d'Albert Jané

Agraïments

En primer lloc agrair a en Xavier, el meu tutor del treball, per la predisposició i interès mostrats des del primer moment a tutoritzar aquest treball i per aconsellar-me com millorar-lo davant de dubtes i contratemps al no trobar informació específica. Sense aquesta guia aquest treball seguiria sent un esbós i no el treball complet que és ara.

Donar les gràcies a tota la meva família per tot el suport i ànims que m'han donat al llarg del grau, des de l'inici d'aquest on ningú sabia exactament què feia i perquè estudiava Tecnologies Marines, fins al final d'aquest, agraint especialment els dies de tranquil·litat que tant he gaudit cada Nadal i que em permetien oblidar per breus instants els estudis per als exàmens finals.

Agrair a tota la meva colla d'amics i amigues per haver suportat la meva faceta d'estudiant universitari i per haver apostat per mi fins i tot quan jo no ho hagués fet, encara que no destaquí per demostrar-ho em sento molt agraït, i òbviament fer menció als que inicialment eren companys de classe i ara són amics que hem passat pels moments durs de la carrera junts, sens dubte un dels millors regals d'aquests estudis són ells.

Cal fer una menció especial a Maretron, Garmin i a Navico per la velocitat i el detall en respondre els meus dubtes de manera desinteressada i que sens dubte han aportat una nova i millor perspectiva per a enfocar el treball.

I en definitiva a tota aquella gent que sense necessitar mencionar els seus noms perquè ja saben qui són formen o han format part de la meua vida i han format part de la meua evolució com a persona i que han contribuït a la meua felicitat, sense ells el viatge d'arribar fins on he arribat no hagués estat ni tan memorable ni tan satisfactori.

Resum

El següent treball té com a objectiu la creació per part de l'autor d'una xarxa NMEA 2000 per a la monitorització de la sala de màquines d'un vaixell portacontenidors.

L'interès pel tema del treball sorgeix posteriorment a haver cursat la menció del Q8 i voler expandir el coneixement sobre l'estàndard NMEA 2000.

L'hipòtesis plantejada és que la sala de màquines d'un vaixell portacontenidors es pot monitoritzar completament amb aquest estàndard.

El plantejament per a desenvolupar aquest treball consisteix en analitzar en primer lloc com les societats de classificació recullen els seus requisits en les seves normatives, i si tots aquests són vàlids per al tipus de vaixell proposat.

El següent pas consisteix en una breu introducció general a les xarxes de comunicacions per a poder explicar amb més profunditat que és l'estàndard NMEA 2000, amb descripcions del seu funcionament i detallant aspectes de la seva connectivitat física, com procedir al muntatge d'una xarxa d'aquest tipus i una explicació i proposta del manteniment que pot necessitar aquesta xarxa.

La darrera part del treball consisteix en definir quins sensors poden ser utilitzats i amb l'ajut del programa N2KBuilder de Maretron poder simular la xarxa proposada juntament amb els càlculs que serveixin com a justificació del correcte funcionament d'aquesta.

Finalment, les conclusions a les que s'ha arribat a l'acabar el treball es mostren al final d'aquest.

Abstract

The aim of the following project is the creation of a NMEA 2000 network that can be used to monitorize the engine room of a container carrier by the project's author. The interest in this subject comes after having coursed the speciality mention during Q8 and desiring to expand the knowledge related to the NMEA 2000 standard.

The hipotesis of this project that it is possible to fully monitorize the engine room of a container vessel with a NMEA 2000 network.

The structure in order to develop this project is the following: To begin with there is an analysis of the requisites of how classification societies demand the monitoring and also if all of them apply to the ship defined.

The next step is providing a brief introduction to the communication networks to later on explain in a detaliad way the NMEA 2000 standard with a description of its funcionalidad and the requisites to phisically create a network and also manteinance requirments for it.

The last part of the project is a theoretical construction of the proposed network using the program N2KBuilder from Maretron in order to achieve this, also calculations will be done and provided in order to justify its proper funcionalidad.

Finally, the conclusions reached after completing the project are written at the end of it.

Índex

AGRAÏMENTS	III
RESUM	IV
ABSTRACT	V
ÍNDEX	VI
LLISTAT DE FIGURES	VIII
LLISTAT DE TAULES	XI
GLOSARI	12
1. INTRODUCCIÓ	14
2. NORMATIVA DE SOCIETATS DE CLASSIFICACIÓ RESPECTE LA SENSORITZACIÓ D'UNA SALA DE MÀQUINES	16
2.1. SOCIETATS DE CLASSIFICACIÓ CONSULTADES	17
2.2. ESTUDI DE LES NORMATIVES	22
2.2.1. MOTORS DIESEL PRINCIPALS, AUXILIARS I D'EMERGÈNCIA	22
2.2.2. CALDERES DE VAPOR.....	26
2.2.3. TURBINES DE VAPOR.....	28
2.2.4. SISTEMES DE REFRIGERACIÓ, HIDRÀULICS I DE CONDENSAT	29
2.2.5. PLANTA PROPULSORA I DE DIRECCIONAMENT	29
2.2.6. PLANTA ELÈCTRICA I SISTEMA ANTIINCENDIS:	31

3. L'ESTÀNDARD NMEA 2000	34
3.1. INTRODUCCIÓ A LES XARXES DE COMUNICACIONS	34
3.2. PRECEDENTS AL NMEA 2000: NMEA 0183	40
3.3. DESCRIPCIÓ DE L'ESTÀNDARD NMEA 2000	42
3.4. CONTINUÏTAT DEL NMEA 2000 I NMEA ONE NET	50
3.5. COMPARATIVA ENTRE NMEA 0183, NMEA 2000 I NMEA ONE NET	52
3.6. ELEMENTS PER A LA CONNECTIVITAT FÍSICA D'UNA XARXA NMEA 2000	53
3.7. MUNTATGE D'UNA XARXA NMEA 2000	65
3.8. MANTENIMENT D'UNA XARXA NMEA 2000	71
4. ESTABLIMENT D'UN VAIXELL TIPUS I DE LA SEVA SALA DE MÀQUINES.....	76
4.1. SELECCIÓ DEL TIPUS DE VAIXELL.....	76
4.2. INFORMACIÓ DE LA SALA DE MÀQUINES	78
5. MUNTATGE TEÒRIC PROPOSAT DE LA XARXA NMEA 2000	80
5.1. SELECCIÓ DE SENSORS	80
5.2. MUNTATGE I CÀLCULS DEL DISSENY TEÒRIC DE LA XARXA	86
6. CONCLUSIONS	100
BIBLIOGRAFIA	101
WEBGRAFIA	102
ANNEXES	104
ANNEX A: TAULES INFORMATIVES DE LES SOCIETATS DE CLASSIFICACIÓ CONSULTADES.	104
ANNEX B: ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES DEL WSD80 1500 I DE LA RESTA DE MAQUINARIA CONSULTADA.	106
ANNEX C: LÈNS DELS DISPOSITIUS UTILITZATS A LES XARXES SIMULADES.	108

Llistat de Figures

Figura 1:Logo de DNV GL. Font: DNVGL	17
Figura 2:Logo de Bureau Veritas. Font: Bureau Veritas.	18
Figura 3:Logo de Lloyd's Register. Font: Lloyd's Register.....	18
Figura 4:Logo de RINA. Font: RINA.	19
Figura 5: Etapes d'un motor quatre temps. Font: Motores de combustión interna.....	22
Figura 6: Etapes d'un motor dos temps. Font: Motores de combustión interna.....	23
Figura 7: Exemples de refrigeració dels cilindres per aigua i refrigeració per el propi oli lubricant. Font: 280655 Motors de combustió interna.	25
Figura 8: Sistema d'atemperament de vapor. Font: Apunts de: 280654 Turbomàquines marines i generadors de vapor.	27
Figura 9:Sistema de reescalfament de vapor. Font: Apunts de: 280654 Turbomàquines marines i generadors de vapor.	28
Figura 10:Monitorització de l'equipament reductor segons RINA. Font: RINA.	31
Figura 11:Requisits de la planta elèctrica segons DNVGL. Font: DNVGL.....	31
Figura 12: Requisits de la planta elèctrica segons Lloyd's Register. Font: Lloyd's Register.	32
Figura 13:Respectivament: Transmissió en sèrie i en paral·lel. Font:Redes de area local.....	35
Figura 14:Respectivament: Exemple d'una senyal analògica i d'una senyal digital. Font:Redes de area local.	35
Figura 15:Tipus de comunicació. Font:Blackbox.co.uk.....	36
Figura 16: Esquema de la topologia en bus. Font:Comparitech.....	37
Figura 17: Esquema de la topologia en anell. Font:Comparitech.	38
Figura 18: Esquema de la topologia en estrella. Font:Comparitech.	38
Figura 19: D'esquerra a dreta: Topologia de malla, en arbre i d'interacció total. Font: Redes de area local.	39
Figura 20: Interconnexió de dispositius del protocol NMEA 0183. Font:NMEA.	40
Figura 21: Transmissió de dades del protocol NMEA 0183. Font:NMEA.	40
Figura 22:Estructura d'una sentència paramètrica per a la posició del timó. Font:NMEA.	41
Figura 23: Representació del funcionament dels bits recessius i dominants. Font: can-cia.org.	42
Figura 24: Representació esquemàtica d'una xarxa NMEA 2000. Font: NMEA.	43
Figura 25: Representació esquemàtica dels cables en una connexió mascle i femella. Font: Maretron. .	45

Figura 26: Trama de dades d'una xarxa NMEA 2000. Font: Polish Maritime Research.....	47
Figura 27: Arbitratge de trames. Font: Canbus.pl.....	47
Figura 28: Esquema de l'integració de l'estàndard NMEA OneNet. Font: NMEA.....	52
Figura 29: Cable de mida micro amb una terminació mascle i una femella. Font: Maretron.....	54
Figura 30: Cable de mida mid amb una terminació mascle i una femella. Font:Navstore.....	54
Figura 31: Cable de mida mini amb una terminació mascle i una femella. Font :Maretron.....	55
Figura 32: Respectivament, cable amb terminacions de nylon i d'un sol gènere. Font: Maretron.....	55
Figura 33: Estructura interna d'un cable. Font: Maretron.....	56
Figura 34: Mini T. Font: Maretron.....	57
Figura 35: Mid T i micro T. Font: Maretron.....	57
Figura 36:Connexions per a 90º. Font: Maretron.....	58
Figura 37:Adaptadors per al cablejat. Font: Maretron.....	58
Figura 38: Terminacions resistives mascle, femella i d'interior de línia respectivament. Font: Maretron.....	59
Figura 39: Font d'alimentació T. Font: Maretron.....	59
Figura 40: Connexió dels cables en una font d'alimentació T. Font:Maretron.....	60
Figura 41: Font d'alimentació T gran i la connexió interna del seu cablejat. Font: Maretron.....	61
Figura 42: Adaptador de NMEA 0183 a NMEA 2000.Font: Yachtd.....	62
Figura 43: Respectivament, adaptador DeviceNet per a Raymarine i NMEA 2000 amb terminació mascle i femella.....	63
Figura 44: Adaptador AlbaCombi. Font: AlbaCombi.....	63
Figura 45: Adaptador NMEA 2000-Ethernet.Font:Maretron.....	64
Figura 46: Caixa multiport. Font: Maretron.....	65
Figura 47: Connectors a través de diferents mides. Font: Maretron.....	65
Figura 48: Instal·lació d'un sensor de cabdal connectat a una font independent. Font: Garmin.....	68
Figura 49: Instal·lació d'un sensor a un adaptador amb múltiples connexions. Font: Maretron.....	68
Figura 50: Instal·lació d'un sensor thorough hull. Font: Navico.....	69
Figura 51: Connexió de senyal analògica a adaptador de senyal. Font: Actisense.....	69
Figura 52: Interfície per a monitoritzar motors NMEA reader.....	70
Figura 53:Simulació de programació d'alarmes per a N2KView (1). Font: Pròpia.....	70
Figura 54: Simulació de programació d'alarmes per a N2KView (2). Font: Pròpia.....	71
Figura 55: Connectors a través de diferents mides. Font: Maretron.....	73
Figura 56: Imatge del WSD80 1500. Font: Wärtsilä.....	76

Figura 57: Perfil i alçat del WSD80 1500. Font: Wärtsilä.....	77
Figura 58: Respectivament, sensors de temperatura ambiental, submergible i de gasos d'escapament. Font: Maretron.	81
Figura 59: Adaptador FFM100 i sensor de cabdal. Font: Maretron.	82
Figura 60: Respectivament, sensors de pressió o de buit estàndards i de pressió submergibles. Font: Maretron.	83
Figura 61: Opció de monitorització per a paràmetres amb sensors no específics per a NMEA 2000. Font: Pròpia.....	85
Figura 62: Sensor Through Hull Seacosense. Font: Digital Yacht.	85
Figura 63: Esquema de funcionament del DCR100. Font: Maretron.	86
Figura 64: Configuració del segon segment de la xarxa NMEA 2000 per al segment del motor principal. Font: Pròpia.	89
Figura 65: Configuració del segon segment de la xarxa NMEA 2000 per a la monitorització la planta propulsora. Font: Pròpia.....	90
Figura 66: Configuració del primer segment de la xarxa NMEA 2000 per a la monitorització dels motors auxiliars. Font: Pròpia.	92
Figura 67: Configuració del segon segment de la xarxa NMEA 2000 per a la monitorització la planta elèctrica. Font: Pròpia.	93
Figura 68: Configuració d'una xarxa NMEA 2000 per a la monitorització de la turbina i la caldera auxiliar. Font: Pròpia.	95
Figura 69: Configuració d'una xarxa NMEA 2000 per a la monitorització dels motors d'emergència. Font: Pròpia.....	96
Figura 70: Configuració d'una xarxa NMEA 2000 per a la monitorització del sistema antiincendis d'abord. Font: Pròpia.	98
Figura 71: Taula de requisits sobre motors auxiliars (DNV GL). Font:DNV GL.	104
Figura 72: Taula de requisits sobre motors auxiliars (Lloyd's Register). Font: Lloyd's Register.....	105
Figura 73: Taula de requisits sobre motors auxiliars (Bureau Veritas). Font: Bureau Veritas.	105
Figura 74: Taula de requisits sobre motors auxiliars (RINA). Font RINA.	106
Figura 75: Algunes de les especificacions més rellevants del WSD80 1500. Font: Wärtsilä.....	106
Figura 76: Especificacions tècniques de la caldera escollida. Font:Parat.....	107
Figura 77: Especificacions tècniques de la turbina escollida. Font:Mitsubishi.....	107

Llistat de Taules

Taula 1:Tipus de sensors de nivell segons societat de classificació. Font: Pròpia.	20
Taula 2:Requisits comuns d’alarmes per a plantes propulsores. Font: Pròpia.	29
Taula 3:Documentació per al sistema antiincendis. Font: Pròpia.	33
Taula 4:Documentació per a la planta elèctrica. Font: Pròpia.	33
Taula 5:Voltatges de transmissió CAN en una xarxa NMEA 2000. Font: Pròpia.	44
Taula 6:Càlcul de retards. Font: Pròpia.	45
Taula 7:Camps d’aplicació del PGN 127505. Font: Pròpia.	48
Taula 8:Camps d’aplicació del PGN 130314. Font: Pròpia.	49
Taula 9:Camps d’aplicació del PGN 130312. Font: Pròpia.	49
Taula 22: Principals característiques de l’estàndard NMEA OneNet. Font: Pròpia.	51
Taula 23: Comparativa dels aspectes destacables de NMEA 0183, NMEA2000 i NMEA OneNet. Font: Pròpia.	53
Taula 10: Taula de distàncies tolerades per cable. Font: Pròpia.	66
Taula 11: Especificacions del WSD80 1500. Font: Pròpia.	78
Taula 12: Consideracions sobre la normativa consultada i els sensors que seran utilitzats per a la xarxa. Font: Pròpia.	81
Taula 13: Llei d’Ohm. Font: Pròpia.	87
Taula 14: Càlcul d’intensitats. Font: Pròpia.	87
Taula 15: Resistència del cablejat. Font: Pròpia.	87
Taula 16: Càlcul de la caiguda de tensió en xarxes NMEA 2000. Font: Pròpia.	87
Taula 17: Càlcul de la caiguda de tensió per al motor principal i per a la planta propulsora. Font: Pròpia.	91
Taula 18: Càlcul de la caiguda de tensió per als motors auxiliars i per a la planta elèctrica. Font: Pròpia.	93
Taula 19: Càlcul de la caiguda de tensió per a la turbina i la caldera auxiliar. Font: Pròpia.	95
Taula 20: Càlcul de la caiguda de tensió per als motors d’emergència. Font: Pròpia.	97
Taula 21: Càlcul de la caiguda de tensió per al sistema antiincendis. Font: Pròpia.	98
Taula 24: LENS dels dispositius utilitzats a les xarxes simulades. Font: Pròpia.	108

Glosari

NMEA: (National Marine Electronic Association).

ISO: International Organization for Standardization.

IEC: International Electrotechnical Commission.

SAE: Society of Automotive Engineers.

ASCII: American Standard Code for Information Interchange.

CAN: Controller Area Network.

PGN: Parameter Group Number.

Gbit/s Gigabits per segon.

Mbit/s: Megabits per segon.

kbit/s: kilobits per segon.

E: Voltatge/ caiguda de tensió.

V: Volts.

R: Resistència elèctrica.

Ω : Ohm.

I: Intensitat elèctrica.

A: Ampers.

F: Farad.

W: Watt.

ns: nanosegon.

CSMA/CA: Accés múltiple per detecció de portadora i prevenció de col·lisions.

LEN: Load Equivalent Number.

TEU: Twenty-foot Equivalent Unit, equival a 6,096 m de llarg x 2,438 m d'ample x 2,591 m d'alt amb un volum interior de 32,8 i un pes de màxima càrrega de 30.480 kg.

\emptyset : Diàmetre.

mm: Mil·límetres.

m: Metres.

m^2 : Metres quadrats.

m^3 : Metres cúbics.

KWe: Kilo Watt elèctric.

L: Longitud del cable en m.

CTL : Caiguda de tensió per unitat de longitud en $m\Omega/m$.

AIS : Sistema d'Identificació Automàtica.

$^{\circ}C$: Graus Celsius.

1. Introducció

Actualment existeixen múltiples protocols i estàndards de xarxes de comunicació originats per a aplicacions industrials ubicades a terra, molts d'ells originats per al control i monitorització de grans processos en cadena en indústries com la de l'automoció, maquinària i l'alimentària entre d'altres. Degut a l'èxit en aquests sectors i l'àmpli abast d'aquests s'han extés fins al sector naval i alguns dels més significatius són: Profinet i Profibus, desenvolupats per la mateixa empresa o Modbus.

Però existeixen protocols i estàndards creats i dissenyats en primer lloc per al seu ús dins del sector naval? La resposta és sí, un d'ells és el NMEA 2000 desenvolupat per l'organització NMEA, el qual ha estat mencionat en diverses ocasions al llarg del grau i d'aquí ha sorgit l'interès d'aprofundir aquest tema i aportar una proposta pròpia a la monitorització d'una sala de màquines.

Un dels aspectes destacats de NMEA és la seva opacitat en la documentació que proporcionen, ja que és un fet conegut pels usuaris dels seus productes que la informació vital i d'interès es troba reservada, i un dels reptes del treball consisteix en trobar el màxim possible d'informació tan per part de NMEA com dels fabricants de productes membres d'aquesta.

Les xarxes NMEA 2000 no troben cap mena de restricció respecte al tipus de vaixell al que es pot implementar, degut als seus senzills procediments d'instal·lació i posada en marxa es poden veure aquestes xarxes des de petites embarcacions d'oci particulars, iots i velers fins a embarcacions de gran eslora diverses com creuers, portacontenidors o petrolers.

El treball es centra en una part en concret dels vaixells: la sala de màquines, tot i així les xarxes NMEA 2000 també tenen aplicacions útils i destacables per a la monitorització de tancs situats al llarg del vaixell i de diversos instruments que ajuden al govern de la nau al pont d'aquesta.

Totes les sales de màquines han de disposar de sensors per a monitoritzar diferents paràmetres provinents de diferents elements integrants d'aquesta, no tots els sensors monitoritzen els mateixos tipus de paràmetres ni tenen les mateixes funcions, per tant, cal fer una distinció que permeti visualitzar les diferents funcions i àrees de funcionament d'aquests.

Tot això és comú en totes les sales de màquines, però a més existeixen aquelles sense dotació permanent, que permeten un funcionament autònom per part de la sala de màquines sense necessitat de que la tripulació s'hagi de trobar-hi present, degut a això aquestes han de disposar de sensors addicionals.

La proposta dissenyada per l'autor aportant la seva perspectiva i visió respecte a quins sensors poden ser usats utilitza com a eina de suport el programa de disseny de xarxes NMEA 2000 Maretron N2Kbuilder per a ajudar a visualitzar virtualment la proposta.



2. Normativa de societats de classificació respecte la sensorització d'una sala de màquines

L'estudi teòric de la sensorització d'una sala de màquines mitjançant una xarxa NMEA 2000 comença a partir de la contextualització dels diversos tipus de sensors que es poden trobar en una sala de màquines. S'ha fet una cerca referent a aquells requerits per normatives de diverses societats de classificació.

D'aquesta manera, s'ha pretès aconseguir una primera visualització precisa i fiable dels requisits en aquest camp, degut al fet que les societats de classificació escollides tenen una gran importància i renom dins del sector naval, i la gran majoria de vaixells amb bandera blanca formen part d'aquestes. Per això s'escull algunes de les més exigents per a garantir una bona contextualització, aquestes són DNV GL, Bureau Veritas, Lloyd's Register i RINA.

D'aquesta manera es visualitza normativa actual i vigent de sensors amb un desglossament dels tipus, juntament amb la seva funció i a quina part o a quina maquinària s'apliquen, juntament amb la inclusió de les taules d'informació proporcionades per les societats i imatges d'elements de maquinària considerades d'especial interès per l'autor per a ajudar a il·lustrar conceptes que es puguin considerar complexos o poc usuals.

L'objectiu d'aquest apartat doncs és fer una recopilació amb una doble finalitat a curt i llarg termini al llarg del treball: a curt termini es busca sintetitzar tota la normativa consultada, incloent el màxim d'informació sobre els sensors necessaris possible i més importants que aportin al treball la forma i el contingut plantejat; i a llarg termini aquesta informació haurà de tornar a ser tractada i haurà de ser comprovat si tota aquesta és assolible des del punt de vista del NMEA 2000 i si no és el cas, quins sensors en poden forma part, quins no i quin funcionament pot tenir.

(Des de l'inici del treball DNV GL i Bureau Veritas han actualitzat les seves normatives al llarg de l'octubre del 2020, posteriorment a una nova consulta d'aquestes tot pel que respecta a l'àmbit de treball no es va veure modificat al no existir diferències en les parts consultades).

2.1. Societats de classificació consultades

DNV GL

La primera societat de classificació consultada és DNV GL, una societat de classificació nascuda el 2013 a partir de la fusió de dues societats de classificació diferents: Det Norske Veritas i Germanischer Lloyd, aquesta societat de classificació es troba incorporada dins de la IACS (International Association of Classification Societies).



Figura 1: Logo de DNV GL. Font: DNVGL

La seva normativa es troba disponible de manera online per a qualsevol usuari que vulgui consultar-la.

En el document de la seva normativa *Rules for Classification, naval vessels part 3 Surface ships, Chapter 4 Automation* es troba informació sobre els requisits dels sensors demanats per DNV GL.

Bureau Veritas

La següent societat de classificació a estudiar la seva normativa és Bureau Veritas, aquesta societat de classificació forma part de la IACS.



Figura 2: Logo de Bureau Veritas. Font: Bureau Veritas.

La seva normativa es troba disponible de manera online per a qualsevol usuari que vulgui consultar-la.

Per a realitzar aquest subapartat s'ha consultat el document *Rules for Classification of Naval Ships. Part C-Machinery, Systems and fire protection* que conté informació sobre la sensorització.

Lloyd's Register

La tercera societat de classificació a estudiar és Lloyd's Register, aquesta societat és una societat que a nivell històric té gran importància, tal i com s'han vist fins ara les societats escollides aquesta també forma part de la IACS.



Figura 3: Logo de Lloyd's Register. Font: Lloyd's Register.

Aquesta societat té una particularitat respecte l'accessibilitat a la seva normativa, aquesta no es troba disponible de manera gratuïta a la seva pàgina web, però tampoc cal fer un registre o subscripció, la manera de poder accedir-hi consisteix en proporcionar de forma breu el teu nom i la teva adreça de

correu electrònic, Lloyd's Register procedeix a enviar-te un enllaç d'internet que et redirecciona a una pàgina on pots descarregar la normativa requerida.

El document utilitzat per la consulta i busca d'informació és "*Rules and Regulations for the Classification of Ships*".

Registro Italiano Navale (RINA)

La quarta i última societat de classificació a estudiar la seva normativa és RINA que igual que les anteriors societats de la classificació també forma part de la IACS.



Figura 4: Logo de RINA. Font: RINA.

La normativa de RINA té una accessibilitat a la seva normativa diferent respecte als anteriors casos, en el cas de RINA cal registrar-se com a usuari a una web que actua com a biblioteca online de tota la documentació disponible, qualsevol persona interessada en accedir-hi es pot registrar com a usuari nou de forma gratuïta (la normativa consultada té moltes similituds amb la de Bureau Veritas).

La documentació consultada és "*Rules for the Classification of Ships Part C: Machinery, Systems and Fire Protection*", en el cas de RINA la informació consultada es troba dividida en dues parts, la primera es centra en la part de maquinària i la segona en l'automatització, instal·lacions elèctriques i la detecció i protecció envers el foc.

Adicionalment, en un inici es va intentar incloure i consultar dues societats de classificació addicionals, la primera va ser la IRS (Indian Register of Shipping) i ABS (American Bureau of Shipping) tot i que al final es van descartar per dos principals motius: en primer lloc quatre societats de classificació de la IACS són suficients per a aportar una quantitat d'informació considerable i acceptable juntament amb diferents contrastos entre elles, de la IBS es va realitzar una ràpida lectura i comprensió i els requisits d'aquesta ja estaven inclosos en un dels tipus de patrons de normativa vistos; i en segon lloc ABS només proporcionava la normativa mitjançant un pagament previ.

Per a la classificació de sensors s'ha optat per adaptar la informació proporcionada per les pròpies societats i posteriorment complementar-la aquesta amb denominacions pròpies.

Els sensors es classifiquen de la següent manera:

- Sensors de nivell: Indiquen el valor del paràmetre a monitoritzar, si la seva funció és simplement informar del nivell sense actuar en conseqüència i no té cap altra tasca associada aquest es considera només de nivell.

Per a DNV GL existeixen els estats alt nivell i baix nivell.

Per a Bureau Veritas existeixen els estats molt baix nivell, baix nivell, alt nivell i de molt alt nivell.

Per a Lloyd's Register existeixen els estats baix nivell, alt nivell o poden ser escalonats, és a dir poden ser de baix o alt nivell d'una primera etapa i una segona en cas de que hagin d'actuar en cas de que el paràmetre sobrepassi el valor crític assignat.

Per a RINA existeixen els estats molt baix nivell, baix nivell, alt nivell i de molt alt nivell.

Taula 1: Tipus de sensors de nivell segons societat de classificació. Font: Pròpia.

- Sensors de funció: Quan la tasca del sensor no queda recollida en el punt anterior però es requereix monitoritzar, on es fa constar el sensor però no de quin tipus és amb un "Es requereix de funció", pel que el criteri per a anomenar escollit per a aquests parteix en el que es monitoritza, si és per exemple un error, una avaria o una mala operació, d'acord al tipus d'incidència, el sensor requerit té el nom d'allò que monitoritza.

També es classifiquen segons la interacció que tenen amb el sistema:

- Alarma: Detecten comportaments anòmals degut a l'obtenció d'un valor a monitoritzar que es troba fora dels marges definits com a correcte funcionament i donen l'avís d'aquest fet. Les alarmes han de ser visuals i audibles.

- Control de maquinària: Detecten comportaments anòmals degut a l'obtenció d'un valor a monitoritzar que es troba fora dels marges definits com a correcte funcionament. En el cas que siguin paràmetres crítics lligats al correcte funcionament de la maquinària i que un mal funcionament que no es pugui revertir a temps i per tant pugui comportar des de severos danys a la maquinària fins a perill per a la vida, aquests de manera automàtica procuren regular i actuar per a intentar estabilitzar la situació o aturar bruscament el funcionament del que monitoritzin.

Aquests sensors són de seguretat de: Reducció (redueix la velocitat de treball), Shutdown (dóna un breu període de temps per a estabilitzar la situació i en cas negatiu aturar el funcionament), Control (regula el comportament del sistema) i StandBy que deixa el sistema aturat a l'espera d'ordres.

Les alarmes han de ser visuals i audibles per la tripulació que es troba fent la guàrdia de la sala de màquines. Una sala de màquines sense dotació permanent és aquella que pot operar de forma autònoma sense supervisió de cap tripulant, les societats estableixen els mateixos requisits juntament amb l'afegit que les alarmes siguin audibles als camarots dels tripulants que s'encarreguen de la sala de màquines.

Per a determinats conceptes a monitoritzar es pot fer la distinció sobre si l'alarma i la visualització d'aquesta és local, és a dir, dins de la sala de màquines o si a més el pont de l'embarcació també la rep.

Una anotació important a fer és el fet que s'han detectat patrons o informació en comú pràcticament idèntica entre diferents societats de classificació. En aquest sentit DNV GL resulta la més singular de totes respecte els requisits en quant als sobre la sensorització a nivell de format i presentació i també més complexa degut a que és la que té més requisits i alguns d'aquests exclusius i propis, es considera que en certa manera té un patró únic que no acaba de ser imitat per la resta de societats.

Bureau Veritas i RINA són les dues societats que de forma més clara comparteixen un patró ja que la gran majoria dels seus requisits són idèntics i les variacions entre ells ben poques.

Lloyd's Register oscil·la entre el patró de DNV GL i el de Bureau Veritas i RINA, doncs la disposició dels requisits és més semblant al segon patró, els requisits en sí s'aproximen més a la complexitat experimentada amb DNV GL.

2.2. Estudi de les normatives

A continuació s'agrupen el seguit de màquines consultades a les normatives i que integren una sala de màquines recollint els requisits més importants i més adients per a l'àmbit del treball d'aquestes manifestant les similituds entre societats i també les diferents perspectives que tenen respecte a una mateixa màquina.

2.2.1. Motors diesel principals, auxiliars i d'emergència

Pel tractament dels motors dièsel principals dedicats a la propulsió totes les societats de classificació divideixen els motors principals en dos grups: de velocitat lenta i de velocitat mitjana o ràpida, que engloben respectivament a motors de dos temps amb creueta i motors de quatre temps.

DNV GL només considera els motors de velocitat mitjana o ràpida, Bureau Veritas els distribueix en dos grups diferents, Lloyd's Register engloba els requisits en una sola categoria destacant particularitats i RINA no fa distinció i engloba els requisits dels dos tipus de motor en aquesta categoria general.

Per a Bureau Veritas referent a motors lents la lubricació es fa amb sensors que venen agrupats en combinacions de tres monitoritzant la pressió de l'oli lubricant als coixinets, l'eix de lleves i de la creueta utilitzant dos sensors d'alarma, un de baix nivell i un altre de molt baix nivell i un de seguretat per al shutdown si s'arriba al molt baix nivell, a més per a motors lents els anteriors paràmetres també tenen monitoritzada la seva temperatura amb sensors d'alarma d'alt nivell, els motors ràpids inclouen els mateixos sensors per a la pressió dels coixinets i un sensor d'alarma d'alt nivell afegit per la diferència de pressions al filtre de l'oli lubricant.

(Tal i com s'ha indicat anteriorment RINA ho engloba tot en una sola categoria però aquests requisits generals s'ajusten al patró definit també per Bureau Veritas).

Per a Lloyd's Register els requisits per a diversos tipus de motors es manifesten en el cas de que hi hagi detecció de boira d'oli lubricant, per a motors lents també s'activa un sensor de seguretat per a la reducció del motor juntament amb sensors d'alt nivell per a la temperatura de l'arbre de lleves i dels coixinets de la creueta i per a ràpids s'activa un sensor de seguretat de shutdown.

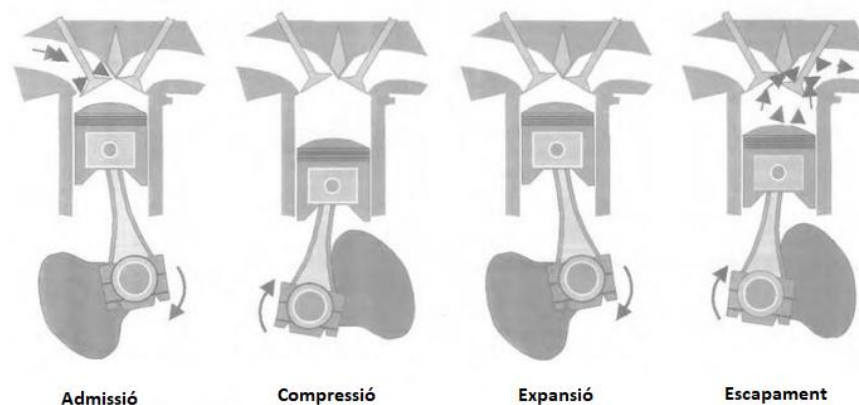


Figura 5: Etapes d'un motor quatre temps. Font: Motores de combustión interna.

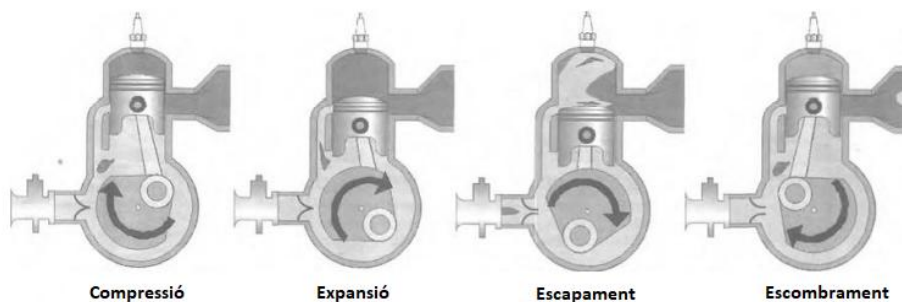


Figura 6: Etapes d'un motor dos temps. Font: Motores de combustión interna.

DNVGL estableix els següents requisits:

Per a la lubricació del motor són necessaris sensors d'alarma d'alt nivell per a la diferència de pressions al filtre, la temperatura dels coixinets i la concentració de boira d'oli lubricant, i aquest últim també té associat un sensor de seguretat de shutdown. Els sensors d'alarma de baix nivell serveixen per a monitoritzar el nivell de l'oli al càrter del motor, la pressió de l'oli a l'entrada del motor (juntament amb un sensor de seguretat per al seu stand-by i posterior shutdown) i la pressió de del servo del common rail per a obrir les vàlvules d'escapament del motor.

La refrigeració consta de la monitorització de l'aigua de mar i aigua dolça: per a la primera un sensor d'alarma de baix nivell monitoritza la pressió d'aquesta juntament amb un sensor de seguretat que posi el sistema en stand-by; i per a l'aigua dolça es requereixen sensors d'alarma de baix nivell per al nivell del tanc del circuit de refrigeració, a la temperatura de l'aigua de refrigeració als cilindres, la pressió d'aquesta al llarg del circuit i als cilindres (per als cilindres un sensor de seguretat de shutdown ha d'entrar en funcionament), i sensors d'alarma d'alt nivell per a la temperatura de l'aigua al llarg del circuit i la temperatura dins de cada cilindre.

El turbocompressor ha de disposar de quatre sensors, dos d'alarma de baix nivell per a la pressió de l'oli lubricant i per a la temperatura de l'aire de renovació de càrrega al turbocompressor i dos d'alarma d'alt nivell per a la temperatura de l'oli i de l'aire a la sortida d'aquest.

Els gasos d'escapament es monitoritzen amb un sensor d'alarma d'alt nivell per a la temperatura a l'entrada i la sortida del turbocompressor, l'aire de control i d'arrencada requereix un sensor d'alarma de baix nivell, l'alarma a més s'ha de transmetre al pont si el motor es pot engegar de forma automàtica des d'aquest.

Per al combustible són necessaris tres sensors: dos d'alarma de baix nivell per a la pressió d'injecció del common rail i la pressió de subministrament de les bombes de combustible; les bombes també entraran en standby amb un sensor de seguretat. Un sensor d'alarma d'avaria ha de donar l'alarma en cas de fugues en les canonades de combustible.

Per a Lloyd's Register la refrigeració requereix sensors d'alarma de baix nivell per a la pressió del refrigerant del pistó, per al cabdal d'aquest i sensors d'alarma d'alt nivell per a la temperatura dels coixinets i del refrigerant. La lubricació requereix de sensors d'alarma d'alt nivell per a la temperatura de l'oli lubricant i la pressió diferencial als filtres d'aquest, un sensor d'alarma de baix nivell per al nivell de l'oli del càrter i una combinació de baix nivell de primera etapa lligat amb un sensor de seguretat de slowdown i un de baix nivell de segona etapa amb un sensor de seguretat de shutdown activat.

L'aire d'escombrat, els gasos d'escapament i l'aire comprimit utilitzat per a arrancar el motor també tenen la seva normativa, respectivament són necessaris un sensor d'alarma d'alt nivell per a la temperatura de l'aire d'escombrat a cada cilindre, per als gasos d'escapament són necessaris sensors d'alarma d'alt nivell per a la temperatura d'aquests i per a comparar aquesta temperatura respecte a una definida prèviament com a valor màxim acceptable, juntament amb la temperatura a la que es troba el tub per on es produeix l'escapament, per a l'aire d'arrencada sensors d'alarma de baix nivell per a la pressió d'aquest.

Per últim un sensor d'alarma ha d'indicar quan l'arrencada automàtica del motor no es produeix.

Per al turbocompressor es requereixen tres sensors d'alarma d'alt nivell per a la velocitat, la temperatura dels gasos d'escapament i de l'oli lubricant a la seva entrada i un de baix nivell per a la pressió de l'oli lubricant a l'entrada del turbocompressor.

La monitorització del combustible i del seu subministrament al motor es fa amb sensors de baix nivell per a la pressió a la que és bombejat, la pressió amb la que és injectat amb el sistema common rail, per a la viscositat si s'utilitza heavy fuel oil i un sensor d'alarma d'avaría per a fugues de combustible en canonades. En darrer lloc queden els paràmetres de la direcció de gir i l'arrencada automàtica del motor amb sensors d'alarma d'avaría i la velocitat del motor amb un sensor d'alarma d'alt nivell i un de seguretat de shutdown.

Bureau Veritas per a la refrigeració del motor fa disposar sensors d'alarma de baix nivell per a la pressió de l'aigua de refrigeració a l'entrada del cilindre i sensors d'alarma d'alt i molt alt nivell per a la temperatura de l'aigua refrigerant després de la refrigeració de cilindres, el molt alt nivell també activa un sensor de seguretat de shutdown. També són requerits dos sensors d'alarma de baix nivell per a la pressió i el cabdal del refrigerant al circuit, però si la refrigeració es fa amb oli es pot prescindir d'aquests dos últims sensors.

En darrer lloc un sensor d'alarma d'alt nivell monitoritza les fugues en les canonades de combustible i un altre d'alt nivell lligat a un de shutdown monitoritza la velocitat del motor per últim, un sensor d'alarma d'avaría actua quan el control del motor actua de forma anòmala.

RINA defineix per a la refrigeració sensors d'alarma de baix nivell per a la pressió de l'inici del circuit d'aigua refrigerant, la pressió del refrigerant dins de cada cilindre a l'entrada i a la sortida d'aquest, tot i que existeix una manera d'evitar la sensorització si la refrigeració es fa per oli ja que l'oli lubricant actua com a refrigerant i aquest ja està sensoritzat. L'últim sensor és un sensor d'alarma d'alt nivell per a fugues de combustible en canonades.

A Bureau Veritas i RINA a més del que s'ha mencionat anteriorment existeixen una gran quantitat de sensors que a diferència de l'anterior paràgraf no tenen cap alarma o funció de seguretat associada i es dediquen només a la monitorització de nivells. Els paràmetres que monitoritzen són: la pressió i la temperatura de l'aire d'escombrat, la temperatura dels gasos d'escapament, la temperatura de l'aigua del sistema de refrigeració i als cilindres, la viscositat del combustible (per a heavy fuel oil) i la pressió d'aquest després del filtre i la velocitat del motor.

Per al turbocompressor es monitoritza la velocitat, la pressió i la temperatura de l'oli lubricant a la seva entrada.

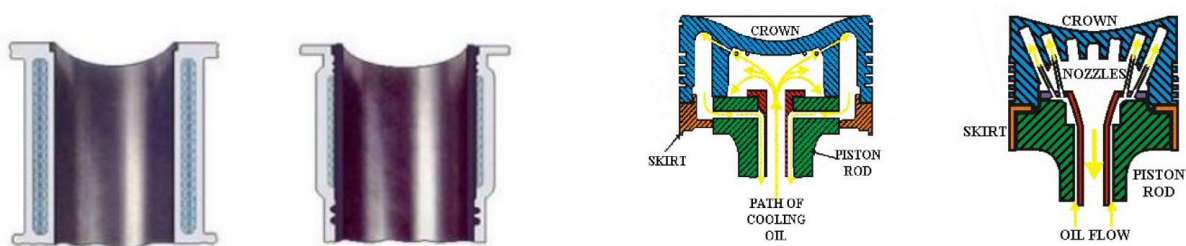


Figura 7: Exemples de refrigeració dels cilindres per aigua i refrigeració per el propi oli lubricant.

Font: 280655 Motors de combustió interna.

Els motors diesel auxiliars segons DNV GL tenen els mateixos requisits respecte als paràmetres a monitoritzar que els principals en els següents àmbits: temperatura, pressió, concentració de boira i diferència de pressions del filtre del sistema d'oli lubricant, cabdal, nivell i temperatura del fluid refrigerant, pressió de la injecció common rail, temperatura dels gasos d'escapament, velocitat i fugues de combustible.

RINA i Bureau Veritas per als motors diesel auxiliars disposen en menor extensió alguns dels conceptes per a la monitorització dels principals, aquests són els de fuga de combustible en canonades, pressió del combustible, pressió del lubricant i del refrigerant, temperatura i nivell del refrigerant, temperatura dels gasos d'escapament i velocitat del motor.

Per als motors diesel auxiliars, Lloyd's Register manté igual els requisits per a la presència de boira, pressió i temperatura de l'oli lubricant, fugues de combustible, la monitorització íntegra del turbocompressor, la pressió del common rail i la viscositat del heavy fuel oil.

Per als motors dièsel d'emergència segons Lloyd's Register els requisits són els mateixos que els dels motors dièsel auxiliars a excepció de la sensorització del turbocompressor, el common rail i el heavy fuel oil.

Els motors d'emergència per a Bureau Veritas i RINA tenen els mateixos requisits, aquests són idèntics als dels secundaris amb l'afegit d'un sensor d'alarma d'alt nivell per a alts nivells de boira d'oli lubricant al càrter (si té una potència superior als 2250 Kw) i que tots els requisits referents a la monitorització del heavy fuel oil no s'apliquen.

(Acabat aquest punt sobre els motors d'emergència s'estableix que els motors auxiliars i d'emergència per DNV GL tenen el mateix tractament pràcticament a excepció de determinats conceptes, doncs no hi ha un apartat específic per a ells a la seva normativa).

2.2.2. Calderes de vapor

Per a les calderes de vapor la sensorització és la següent:

DNV GL i Lloyd's Register no fan distinció entre calderes principals i auxiliars per el que els seus requisits són més extensos i abarquen una quantitat major de paràmetres a monitoritzar.

Per a DNV GL els requisits queden resumits i explicats de la següent manera:

En cas d'avaries i errors de funcionament es disposa que en cas que hi hagi un error d'ignició produïda pels gasos d'escapament per la xemeneia per on són expulsats cal disposar d'un sensor d'alarma d'avaria juntament amb un sensor d'alarma d'alt nivell per a la concentració d'aquests, en cas d'una avaria que comporti que la caldera deixi de funcionar també ha d'haver un sensor d'alarma d'avaria regulant el comportament de la caldera.

L'aigua de la caldera té el següent tipus de monitorització: el nivell de l'aigua amb sensors d'alarma d'alt i baix nivell independentment de l'alarma de nivell que s'activi ha de tenir una alarma de reducció que actuï en conseqüència a l'assolir el nivell, un sensor d'alarma de baix nivell per a la pressió d'alimentació de l'aigua a l'entrada de la caldera i un altre sensor d'alarma de baix nivell monitoritza el cabdal de l'aigua.

Respecte a l'estat del vapor dins de la caldera i el tractament que es fa d'aquest existeixen requisits per als intercanviadors de calor, els sobreescalfadors, els desescalfadors de vapor i els reescalfadors, per als intercanviadors de calor es monitoritza la temperatura del vapor a la seva entrada amb un sensor d'alarma de baix nivell, els sobreescalfadors tenen regulada la seva temperatura i pressió a la seva entrada. Tan la pressió com la temperatura tenen els mateixos requisits, sensors d'alarma d'alt i baix nivell juntament amb un sensor d'alarma de reducció quan s'assoleix l'alt nivell, i per últim els desescalfadors i reescalfadors de vapor també han de disposar dels mateixos sensors que els d'un sobreescalfador.

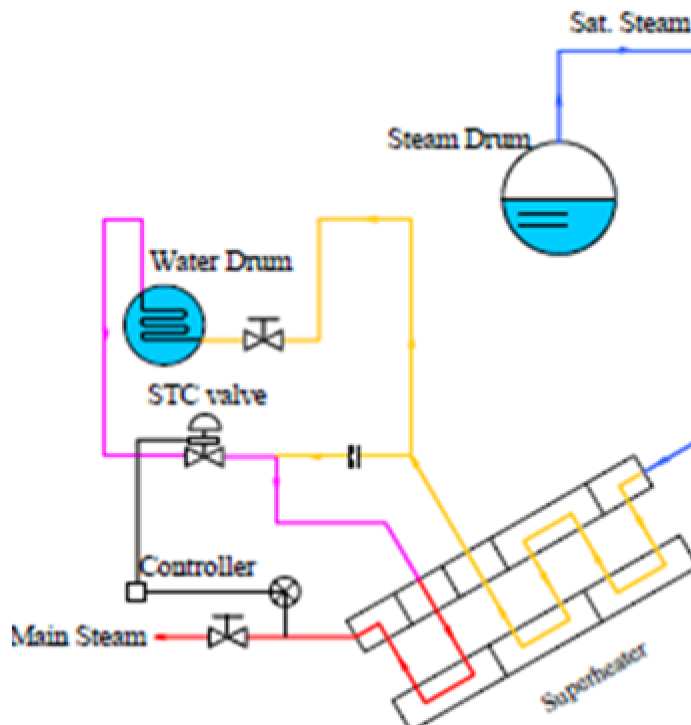


Figura 8: Sistema d'atempament de vapor. Font: Apunts de: 280654 Turbomàquines marines i generadors de vapor.

Per a Bureau Veritas i RINA els requisits són els mateixos i queden resumits i explicats de la següent manera:

Tot el següent grup de conceptes a monitoritzar requereixen sensors de shutdown: l'aturament de la circulació forçada de la caldera (juntament amb un sensor d'alarma d'avaria), error de flama (juntament amb un sensor d'alarma d'avaria), pressió del vapor (juntament amb un sensor d'alarma d'alt nivell) i el nivell d'aigua (amb sensors d'alarma d'alt i baix nivell, el shutdown començaria si el sensor de molt baix nivell dona l'alarma).

Per últim es requereixen sensors d'alarma d'alt nivell per a la temperatura de heavy fuel oil i la de la carcassa de la caldera.

Per a Lloyd's Register els requisits queden resumits i explicats de la següent manera:

Per a les avaries i els errors de funcionament de la caldera es disposen de sensors d'avaria per a la flama als cremadors, als atomitzadors; si la pressió de l'aire atomitzant és baixa també s'ha de disposar un sensor d'alarma de baix nivell i sensors d'avaria per als ventiladors que produeixen aire per a l'atomització juntament amb un sensor de seguretat que porti la caldera a l'aturada, uns requisits que també comparteix la monitorització de la conducció forçada de l'aigua dins de la caldera. L'aturada d'aquesta també s'ha de produir si hi ha algun error en la interfície de control de la caldera.

L'aigua de la caldera requereix sensors d'alarma de baix nivell per a la temperatura, el cabdal i el PH de l'aigua i d'alt nivell per a la salinitat d'aquesta. Per al nivell de l'aigua que hi ha a la caldera calen una combinació de sensors d'alarma d'alt i baix nivell de primera i segona etapa juntament amb un de seguretat de shutdown si s'arriba a la segona etapa.

El tractament del vapor que hi ha a la caldera es divideix en el sobreescalfador i desescalfador: el primer requereix sensors d'alarma d'alt i baix nivell per a la pressió del vapor i d'alt nivell per a la temperatura d'aquest; el segon element té els mateixos requisits respecte a la temperatura del vapor.

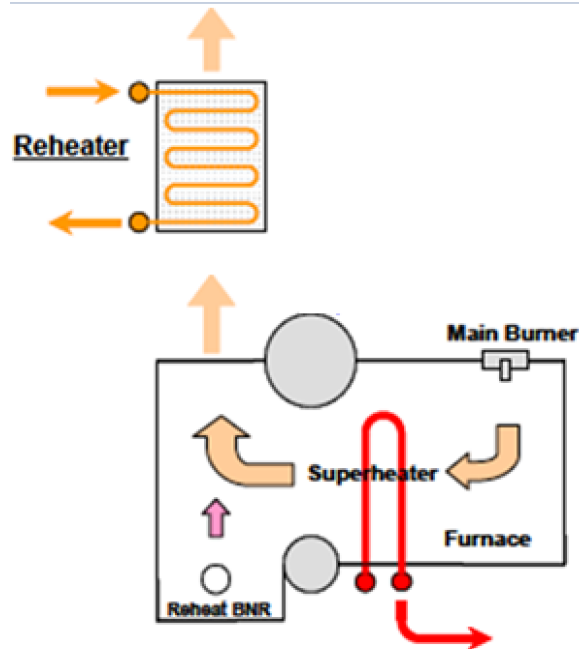


Figura 9: Sistema de reescalfament de vapor. Font: Apunts de: 280654 Turbomàquines marines i generadors de vapor.

El combustible utilitzat per la caldera en funció del seu tipus pot veure els requisits de monitorització modificats, el fuel oil ha de tenir un sensor d'alarma de baix nivell per a la pressió i per a només heavy fuel oil la temperatura o viscositat amb un sensor d'alarma d'alt o baix nivell respectivament.

2.2.3. Turbines de vapor

Per a les turbines auxiliars de vapor la sensorització és la següent:

Bureau Veritas i RINA comparteixen els mateixos cinc requisits: per a la lubricació de la turbina el nivell de l'oli lubricant i la pressió d'aquest són necessaris sensors d'alarma de baix nivell, per a la pressió a més un sensor de seguretat ha de procedir al shutdown de la turbina, sensors d'alarma d'alt nivell per a les vibracions de la turbina i per a sobrerrevolucions que pugui experimentar, un sensor d'alarma d'avaría per el desplaçament del rotor i per últim sensors de seguretat de shutdown per als dos últims paràmetres.

Lloyd's Register defineix els següents paràmetres a monitoritzar: sensors d'alarma d'alt nivell per al desplaçament axial del rotor i per a sobrerrevolucions, per a l'oli lubricant la monitorització es fa a l'entrada de la turbina amb un d'alarma d'alt nivell per a la temperatura i uns de primera i segona etapa baixa per a la pressió, la segona etapa té associat un sensor de seguretat de shutdown, i per últim el buit que hi ha al condensador amb un sensor d'alarma de baix nivell associat amb un shutdown de la turbina.

2.2.4. Sistemes de refrigeració, hidràulics i de condensat

Rina i Bureau Veritas disposen d'un apartat sobre diversos sistemes d'abord que és considerat d'interès i per a remarcar:

La refrigeració per aigua exigeix controlar el cabdal de l'aigua de mar, el cabdal de l'aigua dolça i el nivell de l'aigua de refrigeració, tots tres conceptes es monitoritzen amb sensors d'alarma de baix nivell.

Els sistemes hidràulics requereixen sensors d'alarma de baix nivell per al nivell de l'oli i per a la pressió al que és bombejat.

Per últim el sistema de condensat regula, de l'aigua d'alimentació, el seu nivell, la pressió a la que es bombejada i la salinitat amb dos sensors d'alarma de baix i un d'alt nivell respectivament. El cabdal de l'aigua de mar també precisa d'un sensor d'alarma de baix nivell, el condensador en últim lloc disposa de sensors d'alarma d'alt i molt alt nivell, el molt alt nivell a més condiona l'activació d'un sensor de seguretat de shutdown al monitoritzar la pressió al condensador.

2.2.5. Planta propulsora i de direccionament

Per a tots els següents sensors el posicionament d'aquests es considera local per a aquells paràmetres que es poden monitoritzar des de la sala de màquines, aquells que es trobin fora d'aquesta adquireixen la categoria de remots, a més també han d'informar al pont de la nau totes les alarmes relacionades amb les avaries que puguin succeir als sistemes de control i alimentació de l'equip propulsiu.

Totes les societats tenen en comú els següents sensors a nivell elèctric respecte al funcionament de la planta, juntament amb on han de ser visibles aquestes indicacions.

Paràmetre a monitoritzar	Sensor	Ubicació
Avaria en el sistema d'alimentació	Alarma d'avaria	Pont i sala de màquines
Sobrecàrrega de motor elèctric	Alarma d'avaria	Pont i sala de màquines
Avaria de fases del motor elèctric	Alarma d'avaria	Pont i sala de màquines
Avaria en els sistemes de control i en la seva alimentació	Alarma d'avaria	Pont i sala de màquines
Segellat hidràulic	Alarma d'avaria	Pont

Taula 2:Requisits comuns d'alarmes per a plantes propulsores. Font: Pròpia.

DNV GL per a la planta propulsora estableix sensors d'alarma d'alt nivell juntament amb sensors d'alarma de reducció per temperatura de l'oli lubricant abans i després d'haver estat refrigerat i per als coixinets, sensors d'alarma d'alt nivell per a la diferència de pressions al filtre de l'oli lubricant i sensors d'alarma de baix nivell per al nivell de l'oli lubricant i la pressió d'aquest en el circuit lubricant. La pressió també ha de disposar d'un sensor de reducció i un de seguretat de shutdown, de l'embragatge es monitoritza la pressió d'aquest amb sensors d'alarma de baix nivell i de reducció.

Per a la botzina de la nau es requereixen sensors d'alarma d'alt nivell per a la temperatura dels coixinets, el nivell d'oli hidràulic de la botzina amb un sensor d'alarma de baix nivell i un sensor d'avaria per a rotacions en direccions contraries.

Per als propulsors de pas variable un sensor d'alarma d'avaria per al mal funcionament d'aquest, sensors d'alarma d'alt nivell per a la temperatura i la diferència de pressions al filtre de l'oli hidràulic i sensors d'alarma de baix nivell per a la pressió i el nivell de l'oli hidràulic.

Bureau Veritas estableix: per a l'equipament reductor s'estableixen sensors de nivell per a la pressió, temperatura i nivell del tanc de l'oli lubricant, la pressió addicionalment requereix un sensor d'alarma de baix nivell i un sensor de seguretat de shutdown.

Per al sistema de transmissió són necessaris sensors d'alarma d'alt nivell per a la temperatura dels coixinets de l'eix, la botzina de la nau també té monitoritzada la temperatura però només amb un sensor de nivell i l'embragatge ha de disposar d'un sensor d'alarma d'alt nivell per a la temperatura de l'oli lubricant i un de baix nivell per al nivell d'aquest.

RINA estableix els següents requisits: el sistema de transmissió es divideix en dos grups: sensors d'alarma d'alt nivell per a la temperatura dels coixinets, sensors d'alarma de baix nivell per a la pressió de l'oli lubricant dels coixinets, el nivell de l'oli hidràulic de la botzina de la nau i el cabdal de l'aigua de refrigeració per als coixinets d'aquesta.

En darrer lloc per al sistema de reducció i embragatge es disposen de sensors de nivell per a la temperatura de l'oli lubricant, per indicar quan es produeix l'embragatge i la posició de l'acoblament, juntament amb sensors d'alarma d'alt nivell per a la temperatura dels coixinets i de la lubricació de l'acoblament, en darrer lloc sensors d'alarma de baix nivell per a la pressió de l'embragatge i una combinació d'un de baix i un de molt baix nivell per a la pressió de l'oli lubricant dels coixinets, el molt baix nivell ha de tenir associat un sensor de seguretat de shutdown.

Symbol convention H = High, HH = High High, G = group alarm L = Low, LL = Low low, I = individual alarm X = function is required, R = remote	Monitoring		Automatic control				
			Main Engine			Auxiliary	
	Identification of system parameter	Alarm	Indication	Slow-down	Shut-down	Control	Stand by Start
Lubricating oil temperature		local					
Lubricating oil pressure		local					
	L						
Oil tank level		local					
Clutch control oil pressure	L						

Figura 10: Monitorització de l'equipament reductor segons RINA. Font: RINA.

2.2.6. Planta elèctrica i sistema antiincendis:

DNV GL monitoritza els següents conceptes: davant de caigudes de planta cal disposar d'un sensor d'alarma d'avaria, per a variables que apareixen mentre la planta funciona s'exigeix controlar: la freqüència, amb un sensor d'alarma de baix nivell, davant la presència de sobretensions (un valor acceptat de forma comuna és el d'aproximadament un 120% superior a la tensió nominal) cal un sensor d'alarma d'alt nivell, a més en certes ocasions una sobretensió pot venir provocada pel següent concepte, que és la desconexió de càrregues no essencials on un sensor d'alarma d'error, en casos on una connexió de múltiples càrregues també pot provocar que un sol generador no pugui donar abast al consum requerit pel que un segon generador en paral·lel entra en funcionament, la connexió d'aquest segon generador també comporta l'activació d'un sensor d'alarma d'error.

<i>Electrical plant</i>				
Failure of ship's main	F			
Disconnection of non-essential consumers	F			
Generator switch activated	F			
Low frequency	L			
Over voltage	H			
Failure 24 V main charger	F			
Common fault power management	F			

Figura 11: Requisits de la planta elèctrica segons DNVGL. Font: DNVGL.

Per al sistema antiincendis les alarmes d'aquest han de ser diferents a la resta de forma audible i visual, si aquesta no es troba funcional cal que un sensor d'alarma d'avaria alerti d'aquesta situació simultàniament a la sala de màquines i al pont de la nau, en cas de que no actui es requereix d'un sensor d'alarma d'error.

Lloyd's Register defineix de forma breu els sensors requerits per a la planta elèctrica, especificant quatre paràmetres concrets: el voltatge de l'embarrat elèctric amb sensors d'alarma d'alt i baix nivell, la freqüència d'aquesta amb un sensor d'alarma de baix nivell, si a la planta hi ha massa càrregues connectades un sensor d'alarma d'error indica aquesta situació i un sensor d'alarma d'alt nivell per la temperatura de la refrigeració d'aquells generadors refrigerats per aigua. (A continuació hi ha adjuntat una de les múltiples taules on les societats de classificació anoten els requisits de sensorització).

Table 2.1.2 Electric system: Alarms and safeguards

Item	Alarm	Note
Busbar voltage	High and low	-
Busbar frequency	Low	-
Operation of load shedding	Warning	-
Generator cooling air temperature	High	For closed air circuit water-cooled machines

Figura 12: Requisits de la planta elèctrica segons Lloyd's Register. Font: Lloyd's Register.

La resta de la monitorització es deixa establir com l'armador consideri, adjuntant els següents documents a revisar i aprovar per Lloyd's Register: descripció del funcionament amb diagrames, paràmetres a monitoritzar i alarmes requerides per a la monitorització.

Pel sistema antiincendis s'indica els requisits que s'han de garantir però no s'indica l'ús específic de cap tipus de sensor concret.

Per a Bureau Veritas i RINA es fusionen aquests dos apartats perquè per a la planta elèctrica i el sistema antiincendis les societats determinen que s'han de monitoritzar aquestes però no exigeixen ni regulen una manera concreta de com s'ha de fer, sinó que donen elecció i lliure albir a aquell que dissenyi la sensorització, un cop feta aquesta s'ha d'adjuntar i enviar a la societat de classificació la documentació tècnica que ho recull, on després d'una verificació es determina l'aptitud d'aquesta, a més com en casos anteriors la seva normativa és molt similar.

Per al sistema antiincendis s'han d'adjuntar dos tipus de documents, aquells destinats a informar i aquells a aprovar per a la societat.

Finalitat del document	Contingut del document
Informar	Manuais d'instruccions dels elements de la instal·lació.
Informar	Procediments per a proves i simulacres a realitzar als elements d'alarma, seguretat i control.
Informar	Llista dels sistemes regulats per computació.
A aprovar per la societat	Llista que conté tots els paràmetres a monitoritzar per a elements d'alarma, seguretat i control.
A aprovar per la societat	Diagrama que conté informació sobre la monitorització de les instal·lacions, juntament amb informació sobre l'accessibilitat a aquestes i la manera de comunicar les dades monitoritzades.
A aprovar per la societat	Diagrama del sistema d'alarma.

Taula 3: Documentació per al sistema antiincendis. Font: Pròpia.

Per la planta elèctrica també s'han d'adjuntar dos tipus de documents, aquells destinats a informar i aquells a aprovar per a la societat.

Finalitat del document	Contingut del document
Informar	Ubicació i pla de manteniment per a les bateries dels sistemes d'emergència.
A aprovar per la societat	Diagrames dels sistemes principals i d'emergència de generació d'energia i d'iluminació
A aprovar per la societat	Càlcul dels corrents de curtcircuit.
A aprovar per la societat	Diagrames de les connexions de la planta elèctrica principal i la d'emergència.
A aprovar per la societat	Sistema d'alarmes, monitorització i seguretat representats en forma de diagrames i llista de paràmetres a monitoritzar.

Taula 4: Documentació per a la planta elèctrica. Font: Pròpia.

(Per a les societats amb requisits específics només s'han inclòs aquests, tot i que es fa notar que també hi ha documentació a adjuntar s'ha decidit incloure només tot requisit explícit fet per la societat com a informació útil a utilitzar per a l'apartat on es configura una xarxa NMEA 2000).

3. L'estàndard NMEA 2000

3.1. Introducció a les xarxes de comunicacions

Les xarxes de comunicacions es defineixen com un conjunt de dispositius de transmissió i comunicació de dades que es troben interconnectats entre ells i es troben regulats sota un mateix protocol, que permeten compartir entre dispositius els recursos de comunicacions de tota la xarxa.

Cal distingir la transmissió de senyals amb la comunicació de dades, dos conceptes que solen ser confosos: la transmissió és el procés que permet transportar senyals de magnituds físiques d'un punt d'origen a una destinació i la comunicació és el transport de dades a través d'una senyal de transmissió.

La unitat fonamental d'informació en l'àmbit de la informàtica i les comunicacions és el bit. El bit és un dígit binari que només pot adquirir dos valors: el 0 i el 1, a partir d'aquest sorgeixen els seus múltiples i submúltiples: 8 bits equivalen a un byte i seus múltiples són el Kilobyte, el Megabyte i el Gigabyte entre d'altres, Per exemple, 1 MB són 1024 KB.

Un paràmetre important a conèixer és la quantitat de dades que s'envien en una unitat de temps, això es defineix com la velocitat de transferència i aquesta acostuma a expressar-se com el nombre de bits o algun del seus múltiples per segon, per exemple kilobits per segon (kbit/s).

La transmissió es pot classificar en diverses maneres: segons el seu tipus i segons el seu sincronisme, segons el medi de transmissió i segons la senyal transmesa.

La transmissió pot ser asíncrona o síncrona respecte com els bits són enviats i rebuts. El sincronisme consisteix en una relació entre emissor i receptor que determina els temps d'inici i final de transmissió, per a la transmissió asíncrona aquesta relació s'estableix per a cada dada transmesa a partir d'un seguit de bits que un cop rebuts per el receptor activa un compte enrere per a quedar a l'espera de dades, tornant a posar la línia de transmissió en espera amb un altre bit, degut a que l'existència d'aquests bits afegits es perd rendiment durant la transmissió.

La transmissió síncrona en canvi envia les dades a una cadència constant a partir del moment en el que emissor i receptor han sincronitzat la duració dels bits transmesos, resulta més ràpida, amb millor rendiment i menys distorsionada per soroll que la transmissió asíncrona.

El sincronisme pot ser:

- De bit: determina l'instant en el que comença i acaba la transmissió d'un bit.
- De caràcter: en funció del tipus del codi que es fa servir un conjunt de bits formen un caràcter, aquest sincronisme determina quins bits conformen l'inici i el final del caràcter.
- De bloc: per a blocs de dades es defineixen caràcters especials que indiquen el principi i final del bloc.

La transmissió en sèrie és aquella que es produeix per una única línia de transmissió on els bits es transmeten en cadena a una velocitat de transmissió definida entre l'emissor i el receptor, aquesta transmissió s'utilitza freqüentment quan l'emissor i receptor es troben situats a distàncies llargues, la transmissió en paral·lel es produeix simultàniament per diferents línies de transmissió, on cadascuna transmet un bit, la transmissió en paral·lel aporta més velocitat que la que es fa en sèrie, com més línies hi ha major serà aquesta, tot i que com a contrapart la instal·lació necessària de línies es fa més complexa.

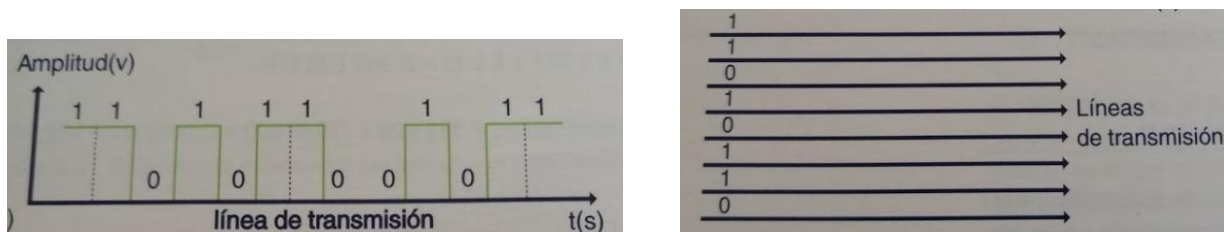


Figura 13: Respectivament: Transmissió en sèrie i en paral·lel. Font: Redes de área local.

L'ample de banda d'una senyal és la diferència que hi ha entre la freqüència màxima i mínima d'una senyal, i només es produirà transmissió per a totes aquelles freqüències que s'hi trobin dins i es una mesura de la capacitat i la velocitat de transmissió que una xarxa pot tenir.

No totes les línies poden transmetre qualsevol tipus de senyal, existeixen senyals analògiques que són senyals que poden adquirir tots els valors possibles en un rang i els senyals digitals que només poden adquirir un nombre finit de valors. A més, aquesta senyal pot ser alterada i modulada per a que pugui arribar als receptors si el senyal no es modula es defineix que la transmissió es fa en banda fase, si es modula la transmissió es fa en banda ampla.

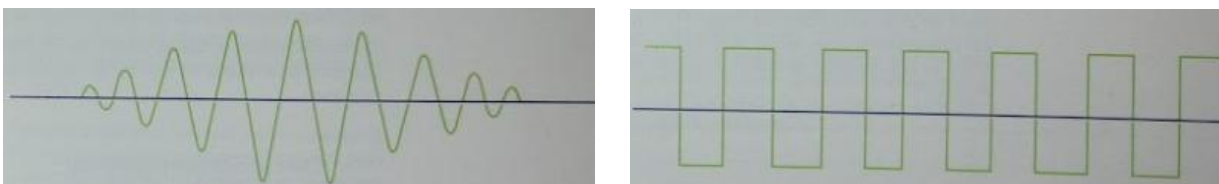


Figura 14: Respectivament: Exemple d'una senyal analògica i d'una senyal digital. Font: Redes de área local.

La comunicació pot ser de tres maneres diferents:

-Síplex: en una comunicació síplex sempre hi ha definits l'emissor i el receptor de les dades, en aquest tipus de comunicació és unidireccional, on els rols d'emissor i receptor són fixos i no hi ha hi ha retorn de dades.

-Semidúplex: la comunicació semidúplex permet una comunicació bidireccional entre emissor i receptor, és a dir, es poden invertir els rols i enviar i rebre dades segons necessitat, amb la restricció de que no poden alternar el rol mentre s'exerceix la comunicació.

-Dúplex: similar a l'anterior però amb la diferència de que la comunicació dúplex permet que aquesta sigui bidireccional i simultània entre emissors i receptors.

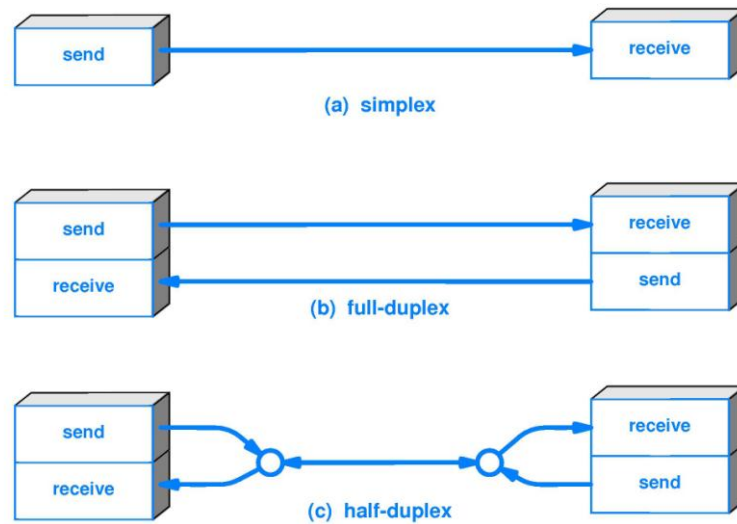


Figura 15: Tipus de comunicació. Font: Blackbox.co.uk.

La comunicació de dades en les xarxes requereix que tan emissor i receptor compreguin com escriure i interpretar aquests. D'aquesta necessitat sorgeix el concepte de protocol, que és un conjunt de normes definides amb l'objectiu de regular la comunicació. Existeixen molts protocols, entre ells podem destacar per aquest treball el Controller Area Network (CAN), que té un lligam amb el funcionament de les xarxes NMEA 2000.

En funció de l'extensió de la xarxa es pot considerar local, metropolitana i extensa:

Les xarxes d'àrea local LAN són aquelles que tots els dispositius es troben interconnectats de manera privada i restringida, aquestes xarxes es caracteritzen també per la seva alta velocitat i seguretat de transmissió i una quantitat reduïda d'errors.

Les xarxes metropolitanes MAN són aquelles que integren zones en l'entorn de ciutats, es troben en un punt intermig respecte a la velocitat de transmissió i la taxa d'errors respecte a les xarxes LAN i WAN.

Les xarxes extenses WAN són aquelles que integren dispositius a grans distàncies, aquest tipus de xarxes són les que tenen una taxa d'error molt alta, i poden arribar a ser mil cops superior a les xarxes LAN.

La topologia d'una xarxa forma part de l'arquitectura física d'aquesta i determina la quantitat de cablejat i la distribució d'aquest per a conformar una estructura física funcional. N'existeixen de diversos tipus i totes elles tenen les seves particularitats, en diferent mesura, condicionen la seguretat de les transmissions, els costos i el manteniment de la instal·lació, els protocols que han d'utilitzar els dispositius que es connecten a la xarxa i la seva ubicació dins d'aquesta, a més determinades topologies a més inclouen dispositius específics addicionals per a la seva implementació.

- Topologia en bus: aquesta topologia consisteix en un bus que disposa d'un accés compartit per tots els nodes. Per a que no es produeixin col·lisions entre transmissions cal que cada dispositiu connectat a la xarxa tingui un ordre i una prioritat per a la transmissió de dades. Més endavant s'aprofundeix amb el sistema utilitzat en xarxes NMEA 2000 que és el CSMA/CA +AMP.

En aquesta topologia els busos són lineals i s'estableixen com una branca troncal que es prolonga per tota la xarxa. Al final de cada extrem del bus s'han de disposar uns elements anomenats terminadors, que actuen com a una impedància elèctrica amb la finalitat d'evitar reflexions i ecos que es puguin produir durant la transmissió.

L'avantatge principal de la topologia en bus també és el seu desavantatge més gran alhora, ja que el muntatge d'aquesta topologia és molt senzill, però una ruptura del bus causa que la xarxa deixi de funcionar correctament.

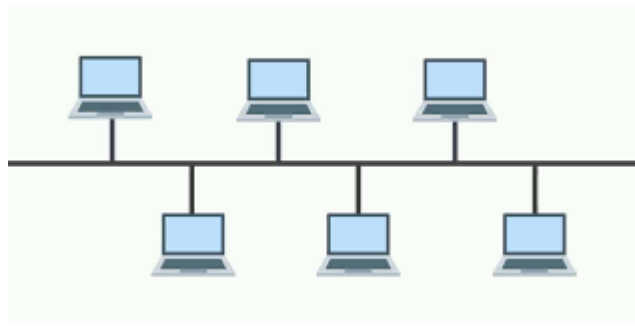


Figura 16: Esquema de la topologia en bus. Font: Comparitech.

-Topologia en anell: tal i com el seu nom indica aquesta topologia consisteix en connectar tots els dispositius en forma circular. Existeixen diverses modalitats d'aquesta topologia però la més coneguda i utilitzada és la Token Ring, degut a la manera de com es troben connectats els dispositius s'ha d'imposar un retard entre ells per a que els bits no es superposin uns sobre altres i direcció de transmissió, ja que en cas contrari es produeixen interferències en la xarxa.

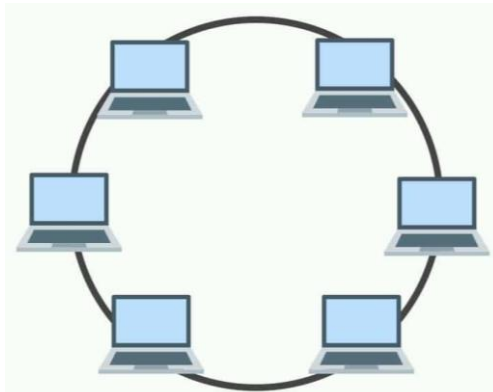


Figura 17: Esquema de la topologia en anell. Font: Comparitech.

-Topologia en estrella: una xarxa es troba connectada en estrella si tots els elements que la integren estan connectats entre ells a través d'un node central anomenat estació concentradora de l'estrella. La presència d'aquesta estació concentradora també condiciona l'arquitectura d'aquesta topologia, si bé a cada dispositiu li arriba únicament el seu cable totes les connexions a l'estació concentradora generen una gran quantitat de cables al voltant d'aquesta.

L'estació concentradora té com a avantatges el fet de poder connectar dispositius entre ells però en cas d'avaría aïllar aquell node defectuós sense que la resta de la xarxa resulti perjudicada. Per últim la topologia en estrella requereix grans quantitats de cablejat per a ser implementada, pel que s'encareix la instal·lació d'aquest tipus de topologia.

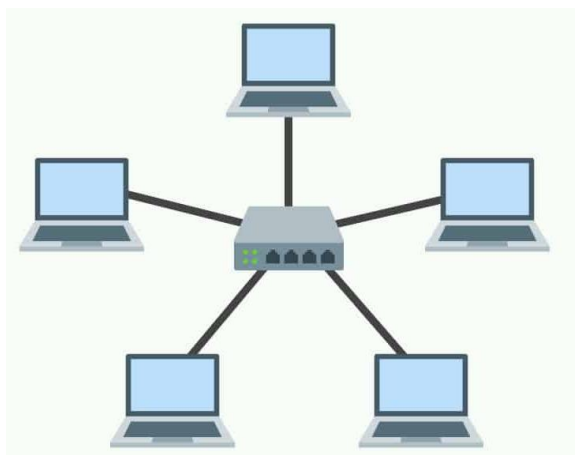


Figura 18: Esquema de la topologia en estrella. Font: Comparitech.

-Topologia de malla: consisteix en formar una malla de cablejat on es situen els nodes en les interseccions de la malla, degut a aquest fet, tots els nodes es troben sempre connectats a un altre mitjançant les múltiples línies de comunicació que formen la malla.

-Topologia en arbre: la topologia en arbre és una variació de la topologia en bus, aquesta topologia inclou el bus central que actua com a tronc, a través dels nodes que es connecten a aquest surten altres busos lineals que actuen com a branques.

-Topologia d'interacció total: consisteix en la connexió de tots els dispositius de la xarxa entre ells, tot i que la xarxa és la més segura a nivell de pèrdua de dades també és la més cara de muntar i per això té un ús poc freqüent.

En darrer lloc tot queden les variacions de les anteriors topologies que combinen diverses característiques d'aquestes i reben el nom de topologies mixtes.

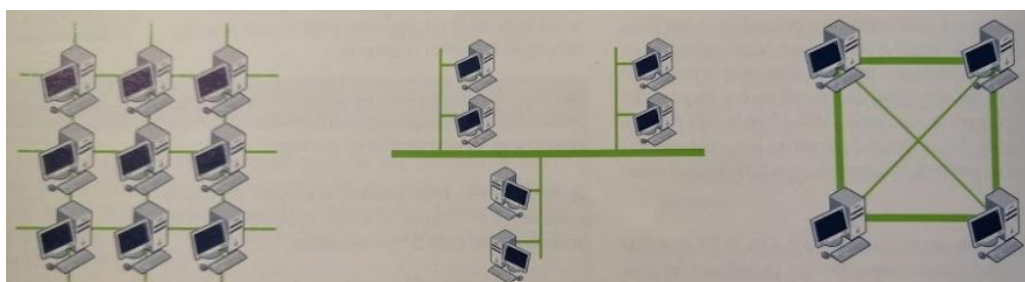


Figura 19: D'esquerra a dreta: Topologia de malla, en arbre i d'interacció total. Font: Redes de área local.

Dins d'una pròpia xarxa, tal com s'ha vist amb les topologies, poden ser requerits elements que actuïn per a interconnectar tots els dispositius d'aquesta i assegurar que hi hagi transmissió de dades entre ells, aquests tipus d'elements reben el nom d'elements de concentració i dins d'aquesta categoria entren el repetidor i el commutador o "switch".

El repetidor és un element que té la finalitat de contrarestar l'efecte de les atenuacions causades a les senyals degut a la longitud de la xarxa mitjançant la restauració de les senyals transmeses regenerant aquestes fins a restablir el senyal original, els repetidors són bidireccionals i tot i que aquest procés de restauració és ràpid a costa de la velocitat el repetidor es torna poc selectiu, és a dir, no fa distinció ni anàlisi del missatge a transmetre per el que si aquest conté un error serà també restaurat.

El commutador o switch com a dispositiu concentrador és utilitzat per a connectar dos segments d'una xarxa i enviar trames de dades entre ells. Es poden direccionar les trames de diverses maneres:

- Cut through: en aquest tipus de direccionament el commutador interpreta una part parcial de la trama de dades, acostumen ser els primers 6 bits i tan bon punt es disposa de la destinació d'aquesta el commutador el transmet d'aquesta manera no hi ha retards en la transmissió però en cas d'error aquest també es transmet.

- Store and forward: el commutador guarda la trama de dades en un búfer, un espai de memòria on la trama és analitzada en busca d'errors en ella i enviada al seu destinatari si no té cap error, aquest anàlisi comporta més seguretat de transmissió a canvi d'un retard breu en l'enviament de trames.

- Fast routing bridge: el commutador actua com a pont o bridge, un element d'interconnexió entre xarxes pel que el funcionament és similar a l'anterior però a part de l'anàlisi de la trama de dades també es fa dels possibles diferents protocols de xarxa.

3.2. Precedents al NMEA 2000: NMEA 0183

Al llarg del treball s'ha mencionat poques vegades el protocol NMEA 0183 reservant una breu explicació sobre el que consisteix per a aquest apartat. Aquest protocol és el predecessor de l'estàndard NMEA 2000 i té unes característiques diferents, aquest protocol està dissenyat per a funcionar juntament amb una interfície i permetre una transmissió única des d'un emissor a múltiples receptors simultanis dins d'una topologia en bus, per el que fins que l'emissor no acaba d'emetre no pot transmetre cap altre dispositiu.

La connectivitat entre dispositius a la xarxa es fa per cables apantallats trenats, els cables es troben sota la denominació de cable A, cable de senyal, B, cable de retorn i apantallat.

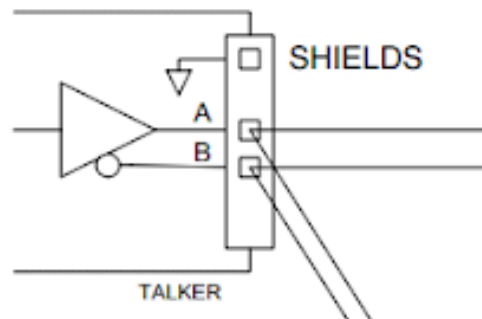


Figura 20: Interconnexió de dispositius del protocol NMEA 0183. Font: NMEA.

La transmissió de dades es fa de forma asíncrona amb missatges que poden contenir des de 11 fins a 79 caràcters, en 8 bits, assignant al bit 0 per a dades prioritàries.

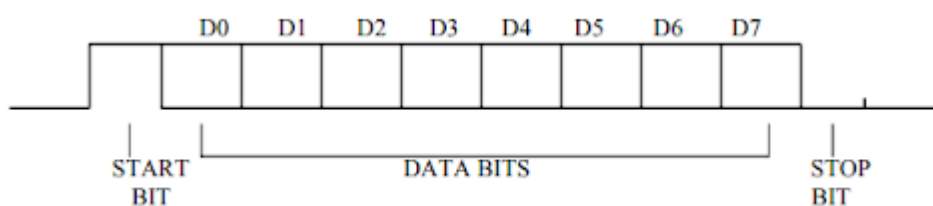


Figura 21: Transmissió de dades del protocol NMEA 0183. Font NMEA.

Els missatges es divideixen per camps i es transmeten utilitzant caràcters del codi ASCII amb un format anomenat sentències.

Tota sentència ha d'estar dividida pels següents camps i per tant ha de tenir la següent estructura:

Inici de sentència amb un "\$" o "!", camp on s'identifica l'emissor i el tipus de sentència, camp on hi ha han les dades a transmetre on cada dada es separa amb ",", camp on s'inclou el checksum indicat amb "*" i per últim el final de la sentència amb <CR><LF>.

El checksum és un sistema de verificació que permet indicar si les dades s'han pogut corrompre.

Els tipus de sentències són:

- Sentències paramètriques: Són la gran majoria de sentències que són transmises pel protocol, aquestes sentències tenen la funció d'indicar les dades dels paràmetres que monitoritzen.
- Sentències Query: Són sentències que són utilitzades per a requerir informació a dispositius connectats, per el que aquest dispositiu ha de ser capaç d'actuar com a emissor.
- Sentències encapsulades: Són utilitzades en condicions especials, el missatge a transmetre es modifica en format eliminant caràcters com comes i asteriscs "encapsulant" un missatge més llarg, aquest tipus de sentències es transmeten quan els paràmetres són desconeguts o quan es requereix una velocitat de transferència superior a la que ofereix el protocol.
- Sentències de propietari: Són sentències que transmeten informació d'interès per als fabricants de productes connectats al protocol, s'utilitzen quan la informació a transmetre va a dispositius de mateix fabricant i quan el tipus de missatge no és important per a la resta de la xarxa, per el que no cal que el missatge hagi de tenir l'estructura obligatòria de les anteriors.

***RSA - Rudder Sensor Angle**
Relative rudder angle, from rudder angle sensor.

S--RSA,x,x,A,x,x,A*hh<CR><LF>

Figura 22: Estructura d'una sentència paramètrica per a la posició del timó. Font: NMEA.

Actualment aquest protocol es segueix trobant en ús en aquelles embarcacions que el van incorporar en el seu moment, ja que el protocol ha seguit incorporant millores i actualitzacions al llarg dels anys que justifiquen la continuïtat del seu ús al seguir monitoritzant els paràmetres per els que inicialment es va fer servir el protocol, però avui en dia l'ús d'equipament compatible amb el protocol ha quedat atribuït en embarcacions fa temps que l'utilitzen íntegrament o xarxes NMEA 2000 que adapten a l'estàndard de forma puntual sensors que funcionen amb el protocol, per tant, si actualment s'hagués de configurar una xarxa NMEA 2000 des de l'inici s'evitaria recórrer a sensors i altres elements relacionats amb el protocol aprofitant les característiques de l'estàndard.

3.3. Descripció de l'estàndard NMEA 2000

El NMEA 2000 és un estàndard de xarxa creat per NMEA (National Marine Electronic Association) que recollit en la IEC-61162-3, dissenyat per a ser utilitzat majoritàriament dins del sector naval com a resposta a la necessitat de disposar a bord d'una xarxa que permeti a un preu raonable gestionar totes les múltiples dades emeses i rebudes simultàniament dins de d'una embarcació de manera bidireccional.

El funcionament de la transmissió i comunicació d'informació en una xarxa NMEA 2000 requereix d'un protocol, aquest és el protocol CAN, les sigles del protocol CAN signifiquen (Controller Area Network) i es tracta d'un protocol dissenyat per a xarxes que utilitzin topologies de bus.

La capa física del protocol CAN té definit per la ISO 11898-2:2016 el funcionament de dos cables utilitzats per a la transmissió de dades. Aquests cables s'anomenen generalment CAN alt i CAN baix. El primer cable transmet a velocitats de fins a 1 Mbit/s, el segon en canvi és més lent però presenta més robustesa davant de pertorbacions de senyal, la velocitat màxima assolida per a aquest és de 125 kbit/s, aquests dos cables es col·loquen trenats entre ells, el motiu d'aquesta disposició és que d'aquesta manera s'eviten interferències electromagnètiques provinents de tercers.

La transmissió amb els cables CAN funciona de la següent manera: en primer lloc es defineixen dos estats, el recessiu i el dominant, el recessiu implica que el CAN alt i baix tenen el mateix voltatge, en canvi al dominant hi ha una diferència de tensió entre ells de 1,5 Volts, la transmissió de dades durant l'estat dominant dona certa robustesa del senyal respecte pertorbacions, ja que si es manté aquesta diferència de tensió es continua podent efectuar la transmissió i lectura de les dades, els bits adquireixen els valors de 0 i 1 si es troben en estat dominant i recessiu respectivament, d'aquesta manera el bus sempre es troba en estat recessiu excepte quan els nodes de la xarxa estan transmetent.

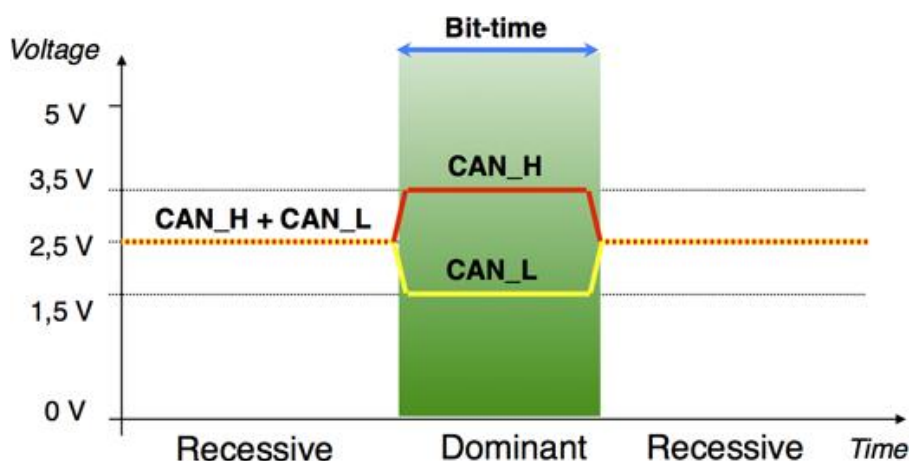


Figura 23: Representació del funcionament dels bits recessius i dominants. Font: can-cia.org.

El protocol CAN està format per dos tipus d'elements principals, el controlador que té la tasca de revisar les dades rebudes en busca d'errors i que rep aquestes de tots els nodes de la xarxa, i els transmissors i receptors que adequen aquestes al protocol.

A més disposa de tres maneres de tractar amb els possibles errors que es puguin produir i evitar els efectes negatius que pugin suposar per a la xarxa, per tal de detectar els errors dins de la informació a transmetre s'inclou un conjunt de sis bits i un d'ells amb el valor contrari, d'aquesta manera els errors no són capaços de replicar aquesta part del missatge i són detectats fàcilment.

Els errors detectats en nodes es poden classificar en: actius, passius i anul·lats o "bus off". Els errors actius són aquells en el que els nodes amb errors que són capaços de transmetre dades i han transmès aquest error menys de 127 cops, per a l'error passiu el funcionament és similar però a diferència de l'error actiu on tots els nodes transmeten l'error entre ells i al controlador si s'ha transmès més de 127 cops. Aquests errors són transmesos directament al controlador i el errors bus off quan es produeixen fan que el node on resideix l'error deixi de comunicar-se amb el controlador i no pugui tornar a connectar-se a la xarxa fins que no rebí i retorni 128 cops dades que continguin zero errors.

Els avantatges més destacables per als que destaca el protocol CAN són:

- D'acord amb la tipologia per a la que ha estat dissenyat, es redueix l'ús del cablejat necessari per al muntatge de la xarxa.
- Comunicació bidireccional al llarg de tota la xarxa.
- Gran robustesa del senyal davant de soroll i interferències electromagnètiques.
- Jerarquia de missatges: tots els nodes tenen una prioritat i un ordre establert, d'aquesta manera la velocitat de transmissió és elevada i a més s'eviten col·lisions entre nodes.
- Sincronització de la transmissió de dades, evitant retards en aquesta.
- Detecció i resolució d'errors, classificació del tipus d'error i com afecta aquest a la xarxa.

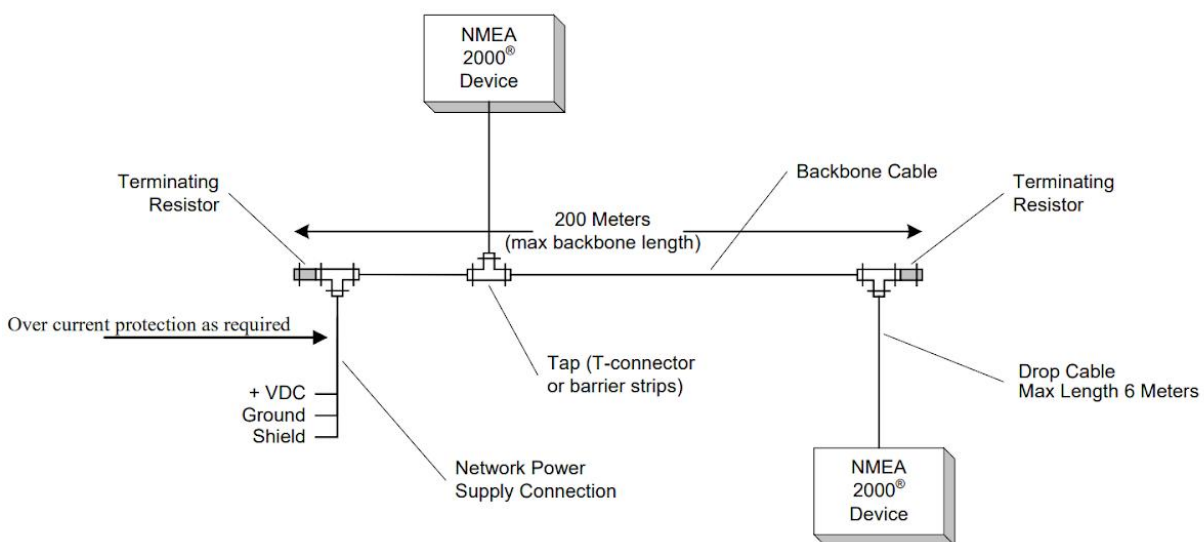


Figura 24: Representació esquemàtica d'una xarxa NMEA 2000. Font: NMEA.

L'estàndard NMEA 2000 respecte al seu producte antecessor, la interfície NMEA 0183, permet la transmissió de dades a velocitats 26 cops superiors, aquestes velocitats però, venen en part condicionades per la longitud total de la instal·lació i pel fet de que el protocol CAN ha de garantir que tots els bits es tractin al mateix temps i amb una velocitat mínima de 250 Kbits/s, llavors, per a aquesta velocitat la distància màxima que amb cablejat pot ocupar la xarxa sense incomplir els anteriors requisits és de 200 metres.

Inicialment es va recomanar que tots els elements a connectar a la xarxa poguessin ser capaços de tolerar valors superiors als 250 Kbits/s per a distàncies més curtes i velocitats més baixes a llargues distàncies per a un cas de possible millora de l'estàndard tot i que actualment no hi ha constància de que aquest s'hagi adaptat a diferents velocitats i distàncies, a més degut a la seva topologia l'ample de banda queda limitat entre 62,5 Kbits i 1 Mbit.

La xarxa pot ser alimentada elèctricament de dues maneres excloents entre elles: la primera consisteix en alimentar directament amb l'ús de les bateries de 12 Volts del propi vaixell, des d'on es connecti a la xarxa és irrellevant, en canvi la segona manera consisteix en utilitzar fons d'alimentació aïllades amb un voltatge de 15 volts. És recomanable connectar aquestes en una posició central tot i que es poden connectar múltiples fonts d'alimentació a llocs arbitraris al llarg de la xarxa de manera redundat com a element de seguretat per a la xarxa o per a garantir l'alimentació a una zona d'aquesta on hi hagin uns requisits de consum elevats, la xarxa considera com a valors correctes per a la seva alimentació i funcionament el rang comprès entre 9 i 15 Volts.

A l'utilitzar el protocol CAN l'estàndard fa ús de les característiques d'aquest, això inclou l'ús dels dos cables de transmissió que reben el nom de CAN alt i baix, a continuació hi ha una taula indicant els voltatges de la xarxa en els dos estats de transmissió.

Estat	Voltatge estat dominant	Voltatge estat recessiu	Diferència de voltatge
CAN Alt	3.5 Volts	1.5 Volts	2.0 Volts
CAN Baix	2.5 Volts	2.5 Volts	0.0 Volts

Taula 5: Voltatges de transmissió CAN en una xarxa NMEA 2000. Font: Pròpia.

El cablejat com a element de connectivitat física queda tractat al següent subapartat, però a continuació s'adjunta un breu incís sobre el significat de cada tipus de cable Net i shield: Net-H és el cable CAN Alt, Net-L és el CAN baix, Net-S és el cable d'alimentació elèctrica amb polaritat positiva, Net-C és el cable que actua com a neutre i shield és un cable apantallat.

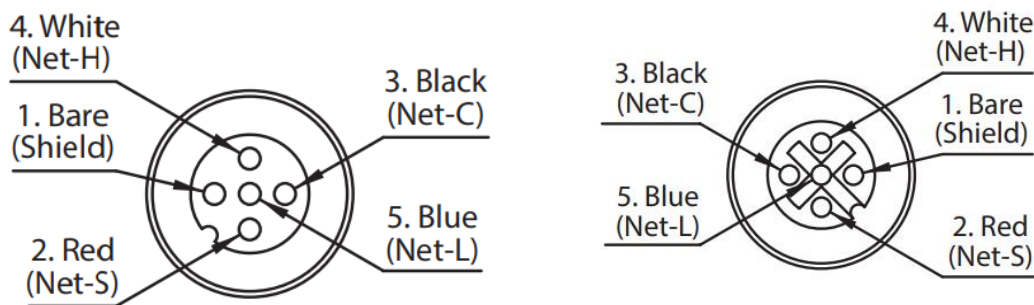


Figura 25: Representació esquemàtica dels cables en una connexió mascle i femella. Font: Maretron.

La xarxa ha de disposar d'aïllament elèctric per a corrent continua i corrent alterna a tota la xarxa, però es destaca aquest aïllament amb les interfícies de la xarxa, per a la corrent continua la resistència d'aïllament entre les interfícies de la xarxa respecte a altres connexions elèctriques com la presa de terra ha de ser superior als 100 KΩ, per a la corrent alterna la capacítància entre les interfícies de la xarxa respecte a altres connexions elèctriques com la presa de terra no pot superar els 100 pF.

La qualitat de la senyal al llarg de la xarxa, per a evitar que la informació quedi desfasada i que la monitorització es pugui efectuar a temps real es requereix que tots els retards que pugui experimentar la xarxa siguin inferiors a 180 ns.

La següent expressió permet determinar el retard que hi ha a la xarxa i comparant aquest amb el temps de mostratge, que és el temps que tarda un senyal analògic en tornar-se digital i que ha de ser superior als retards de la xarxa en el moment que el 87% del mostratge ja s'ha adaptat en un bit.

$$(0.87)T > 2x(L \times pd + CANin + CANout + Tx + Rx)$$

On:

- T és l'interval de temps que hi ha entre mostratge de bit en nanosegons.
- L és la longitud en metres que hi ha entre els dos nodes més separats entre ells de la xarxa.
- pd és la propagació del retard a través del cable en nanosegons/metre.
- CANin/CANout són els retards del protocol CAN a l'emissió i recepció en nanosegons.
- Tx i Rx són retards dels circuits dels transmissors i receptors del protocol CAN en nanosegons.

Taula 6: Càlcul de retards. Font: Pròpia.

Les dades que es transmeten per la xarxa ho fan en forma de trames, un conjunt de bits que conformen una unitat de mesura determinada pel protocol, en el cas del protocol CAN i per extensió l'estàndard NMEA 2000 hi ha quatre tipus de trames:

- Trama de dades: aquestes trames transmeten dades al llarg de la xarxa.
- Trames d'error: dades que contenen una estructura de bits errònia i és detectada per la xarxa.
- Trames de petició remota: són sol·licituds d'informació entre nodes diferents.
- Trames de sobrecàrrega: aquestes trames provoquen retards de transmissió.

Cada dispositiu de la xarxa ha de poder ser identificat amb una adreça de xarxa. Una xarxa NMEA 2000 disposa de 255 adreces que van de la 0 a la 254, però per a identificar dispositius només es poden fer servir de la 0 a la 252.

Les trames de dades que es transmeten al llarg d'una xarxa NMEA 2000 tenen la següent estructura característica, la trama s'inicia amb un conjunt de 29 bits que contenen:

Bit d'inici: indica l'inici de la trama.

Comptador de trames: una trama és un sèrie de bits que transporten informació a través de la xarxa, que en funció de si aquesta informació pot cabre en vuit bits o no degut a que les trames de dades del protocol CAN són de vuit bits, aquesta cal ser separada en diverses trames enviades en ordre, amb la finalitat de no perdre i rebre informació de forma parcial en cas de diverses trames la xarxa ha de conèixer en quantes parts queda dividida.

Adreça i destinació: defineixen la direcció de les dades que emet un dispositiu, els PGNs poden indicar dues opcions per a la seva adreça i destinació, aquesta adreça pot ser específica i ser enviada a un punt en concret com seria el controlador CAN o bé ser enviada i direccionada cap a tots els dispositius connectats a la xarxa.

Prioritat de la informació: especifica una jerarquia de dades en funció del paràmetre a monitoritzar i la seva criticitat segons el seu context de treball, d'aquesta manera alguns PGNs són capaços de ser enviats i rebuts en primer lloc per sobre d'altres.

A continuació hi ha 7 bits anomenats de control que predefeixen les característiques del missatge a transmetre indicant la longitud d'aquest.

Seguidament es troben 8 bytes de dades, en aquesta part de la trama hi ha el missatge a transmetre, tot i que es pot donar el cas que de que no es requereixen tots ells i quedi indicat pels bits de control, o bé que aquests 8 bytes no siguin suficients per a englobar la totalitat del missatge, al final d'aquest apartat es descriuen quins mètodes són utilitzats per a la transmissió en aquests casos.

Per últim es troba un bloc conformat per: el "Cyclic redundancy check" (CRC) que consisteixen en 16 bits encarregats de comprovar el missatge enviat en busca d'errors, un cop comprovat que el missatge no conté errors 2 bits donen un senyal d'"Acknowledge" o rebut confirmant que aquest ha arribat a la seva destinació. La trama finalitza amb 7 bits de final de trama indicant el final d'aquesta.

(En la imatge apareix que el primer bloc pot ser format per 11 o 29 bits, els dos tipus de blocs tenen la mateixa funció però existeix la variació extensa de 29 bits i aquesta és la que es fa servir en les xarxes NMEA 2000).

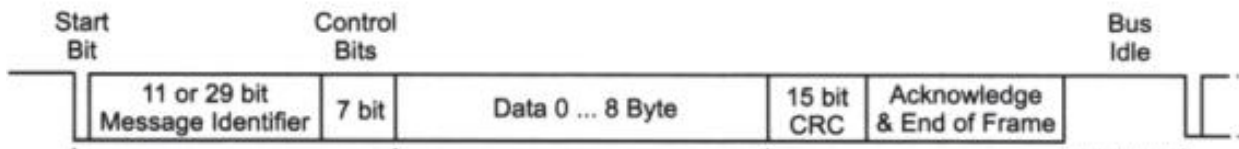


Figura 26: Trama de dades d'una xarxa NMEA 2000. Font: Polish Maritime Research.

Una col·lisió de dades es produeix quan els bits de diferents dispositius de la xarxa s'envien simultàniament, el mètode utilitzat per a resoldre aquest conflicte és el CSMA/CA +AMP, un mètode que consisteix en gestionar la col·lisió de dues maneres diferents. Cada missatge conté en ell una prioritat predefinida per un PGN (aprofundit a continuació), i un sistema que compara les trames de dades i els seus bits, on com menor sigui el valor de la trama, i més proper al que tingui d'esquerra a dreta més zeros amb un u final en cas de dubte amb el primer mètode descrit.

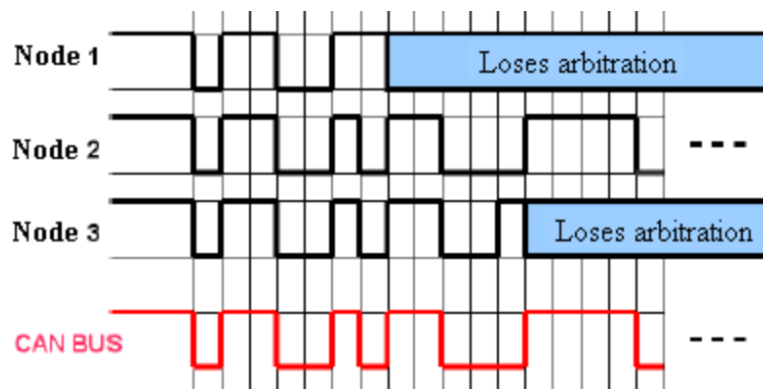


Figura 27: Arbitratge de trames. Font: Canbus.pl.

A continuació es proporciona descripcions del funcionament de diversos PGNs del NMEA 2000. Un PGN (Parameter Group Number) és un conjunt de vuit bits que contenen informació respecte sobre quins paràmetres està monitoritzant el sensor i les dades recollides d'aquesta operació, actualment existeixen 105 PGNs. Els PGNs aporten la següent informació:

- Ràtio d'emissió: si el PGN té la tasca de monitoritzar paràmetres de manera constant i enviar la informació rebuda ha de tenir un ràtio d'emissió que indica la freqüència amb la que les dades són enviades.
- Camps: els camps són aquells paràmetres que el PGN té al seu càrrec per a monitoritzar i enviar la informació recopilada d'ells, cada camp ha de contenir dins de la xarxa informació que permeti identificar la seva tasca i quin paràmetre és el que es monitoritza seguit de les unitats que es mesuren segons el Sistema Internacional.

- Query: Query és la interacció que hi ha entre un emissor i un receptor quan aquest últim fa una sol·licitud d'informació, el receptor fa una demanda d'informació que el emissor ha d'enviar fins que se li requereixi el contrari, els query permeten demanar informació sobre els camps dels PGNs.

Com a exemples de PGNs es mostren a continuació un recull procedent de la monitorització del nivell, pressió i temperatura de tancs o d'altres elements com motors.

PGN de la monitorització del nivell de tancs: 127505

Aquest PGN pot informar sobre quatre paràmetres diferents, cada paràmetre queda definit com a camp d'aplicació del PGN:

Camp	Descripció
Posició del tanc	Es poden arribar a monitoritzar 16 tancs amb els mateixos tipus de fluid, aquesta numeració va del 0 al 15.
Tipus de fluid	Proporciona el nom tipus de fluid que conté el tanc, NMEA 2000 pot reconèixer els següents tipus de fluids: combustible, aigua de mar, aigua dolça, oli i aigües negres.
Nivell del tanc	S'indica en forma de percentatge el nivell de fluid que hi ha al tanc.
Capacitat del tanc	Aquest camp indica quina és la capacitat del tanc a monitoritzar.

Taula 7: Camps d'aplicació del PGN 127505. Font: Pròpia.

PGN de la monitorització de la pressió de fluids: 130314

Existeixen quatre camps d'aplicació:

El primer camp no es centra en monitoritzar cap paràmetre en concret sinó que s'encarrega d'agrupar tota dada rellevant detectada pel sensor que pugui ser agrupada amb altres paràmetres similars i d'interès, per exemple tot i que la pressió i la temperatura d'un fluid es monitoritzen amb sensors diferents, aquestes dues s'agrupen per a per a una millor lectura i interpretació de les dades.

Camp	Descripció
Identificació de la pressió	Indica si la pressió mesurada és pressió: atmosfèrica, hidràulica, aire comprimit, de vapor i d'aigua.
Pressió	Indica la pressió mesurada en cada seqüència de transmissió, la sensibilitat d'aquesta pressió és de 0.1 Pascals.
Pressió específica	Aquest camp funciona amb dos passos, primer es defineix un valor de pressió (el valor màxim tolerat o definit com al que a partir dels següents el control de la pressió esdevingui perillosa), per tal d'agilitzar la detecció d'aquest valor si es monitoritzen múltiples pressions es numeren aquestes per a millor ubicació.

Taula 8: Camps d'aplicació del PGN 130314. Font: Pròpia.

PGN de la monitorització de la temperatura: 130312

De manera idèntica a la pressió hi ha un grup encarregat d'agrupar dades de diferents sensors però que juntes aportin una lectura més clara de l'element o maquinaria a monitoritzar.

Camp	Descripció
Identificació de la temperatura	Indica quin tipus de temperatura s'està monitoritzant: de refrigeració, de vapor, de l'aigua de mar, de l'oli lubricant, i també ambiental.
Temperatura	Indica la temperatura mesurada en cada seqüència de transmissió, la sensibilitat d'aquesta temperatura és de 0.01 graus Celsius.
Temperatura específica	Consisteix en definir una temperatura que resulti d'interès per a la monitorització, com per exemple la màxima tolerada per a la maquinària i posteriorment numerar-la per a ubicar a quin element correspon i evitar confusions.

Taula 9: Camps d'aplicació del PGN 130312. Font: Pròpia.

Per a tots ells hi ha un camp reservat per NMEA que actua imposant sobre la xarxa i el sensor que els valors de tots els bits sigui 1, a més per al PGN de motors també es pot fer a l'inversa amb tots els bits adquirint el valor de 0.

Existeixen tres maneres de transmetre dades en una xarxa NMEA 2000, tot i que existeix un tipus predominant per els seus beneficis respecte als altres, la transmissió es pot fer en:

- Mètode d'un sol paquet de dades: el mètode del paquet de dades únic consisteix únicament en l'enviament d'informació en vuit bytes a la destinació indicada per la adreça de capçalera indicada pel PGN.
- Mètode del paquet de dades múltiple: Regulat per la ISO 11783 una normativa ben extesa dins del sector automobilístic. El mètode del multi paquet de dades restringeix la quantitat de dades que pot enviar en 1.785 bytes però té la capacitat d'escollir el destinatari d'aquesta sense trobar-se restringit per la adreça i ubicació de cada PNG, tot i això la seva velocitat és inferior respecte a altres mètodes.
- Mètode de paquet ràpid: la majoria de dades en una xarxa NMEA 2000 són enviades amb el mètode de paquet ràpid en gran part per la mida d'aquestes, a més el paquet ràpid aporta respecte als dos anteriors mètodes una velocitat de transmissió superior als altres permetent enviar fins a 223 bytes en intervals de ràpida successió per als missatges més extensos que no puguin tenir cabuda en una sola trama de dades.

Aquests mètodes, però, poden coexistir dins d'una xarxa NMEA 2000 degut a la manera que aquesta té de gestionar el retorn de dades amb el que es coneix com reply in kind, el que permet respondre amb el mateix mètode de transmissió l'enviament de dades com a norma general sempre que sigui possible, en cas de que aquella resposta excedeixi en quantitat de bytes es canvia el mètode a un amb més capacitat de transmissió.

3.4. Continuïtat del NMEA 2000 i NMEA OneNet

Si analitzem el futur que depara al NMEA 2000, avui en dia els avenços, les demandes i necessitats en el camp de les xarxes a bord van en augment, l'aparició de dispositius cada cop més avançats i d'arquitectura interna diferent, obliguen, en certa manera a fer evolucionar el que fins al moment ha funcionat correctament, de la mateixa manera que sense acabar de quedar obsolet, el protocol NMEA 0183 s'ha anat veient superat en diferents aspectes per l'estàndard NMEA 2000, NMEA té en desenvolupament el següent estàndard, el NMEA OneNet.

El NMEA OneNet sorgeix de la necessitat per part de fabricants de que existeixi una compatibilitat entre l'estàndard NMEA 2000 i l'estàndard Ethernet IEEE 802.3, ja que tot inicialment hi havia alguna modificació permet establir aquest tipus de transmissió, no eren gaire fiables al no disposar de molta interconnectivitat.

Degut als anteriors motius l'estàndard NMEA OneNet es defineix com a un estàndard que es basa en les xarxes Ethernet i que utilitza el protocol Internet IPv6, a més també pot actuar com a enllaç entre

dispositius de diferents protocols, permetent funcionar correctament amb elements NMEA 0183 i NMEA 2000 utilitzant gateways per a que siguin compatibles, d'aquesta manera no s'acaba desfasant aquests sinó que els permet formar part de la xarxa que integra aquest nou estàndard.

Inicialment es va començar a desenvolupar l'any 2010 i teòricament havia d'estar finalitzat i posat en mercat l'any 2012 però a dia d'avui encara no s'ha introduït extensivament ja que fins a finals de 2020 la seva primera versió no s'ha troba acabada però la completa certificació de dispositius a connectar no s'espera que ho sigui fins al 2021, això ha condicionat que si bé anys enrere existia algun mètode no gaire fiable, deu anys després de l'inici del seu desenvolupament ja es compten amb adaptadors NMEA 0183-Ethernet, NMEA 2000-Ethernet o fins i tot NMEA 2000-Estàndard dissenyat específicament per a aquest cas com serien les xarxes ANT dissenyades per Garmin.

D'aquesta manera es fa l'observació que si bé fa deu anys enrere el salt entre generacions d'estàndards era elevat, les exigències no han pogut esperar el temps per a efectuar aquest canvi i han dotat a les xarxes NMEA 2000 de petits avenços fins a l'arribada de NMEA OneNet que podrà amplificar aquests al no disposar de les restriccions de disseny del NMEA 2000.

Les principals característiques i millores destacables que aportarà un cop acabat l'estàndard NMEA OneNet són:

- Transmissió i comunicació de missatges amb el protocol IPv6.
- Millores en ciberseguretat.
- Compatibilitat amb anteriors productes de NMEA i altres protocols.
- Capacitat de connexió de més de 65.000 dispositius a la xarxa.
- Velocitats de transmissió des de 100 Mbit/s fins a 10 Gbit/s, essent entre 400 i 40.000 cops més ràpid que l'estàndard NMEA 2000.
- Degut a un ample de banda superior, monitorització en format vídeo en temps real de múltiples zones del vaixell.
- Augment de potència fins als 25.5 W provinents de l'estructura de les xarxes Ethernet.

Taula 10: Principals característiques de l'estàndard NMEA OneNet. Font: Pròpia.

Es destaquen dues aplicacions immediates. Una per als vaixells de passatge com creuers o RO-RO, ja que tots els passatgers podran tenir l'opció de connectar-se a Internet des dels seus dispositius mòbils degut a la quantitat de dispositius que es poden connectar a la xarxa i perquè l'Ethernet es troba ben extés al llarg del món en múltiples àmbits. La segona és la robustesa d'aquest estàndard davant d'ingerències i atacs informàtics que pugui comprometre a les embarcacions, en primer lloc cada dispositiu transmet dades que s'encripten abans de ser enviades en segon lloc es disposa d'un control absolut de quins dispositius coneguts o no es connecten a la xarxa i s'otorga la possibilitat de vetar a aquells no desitjats superiors a les mesures que disposa actualment NMEA 2000.

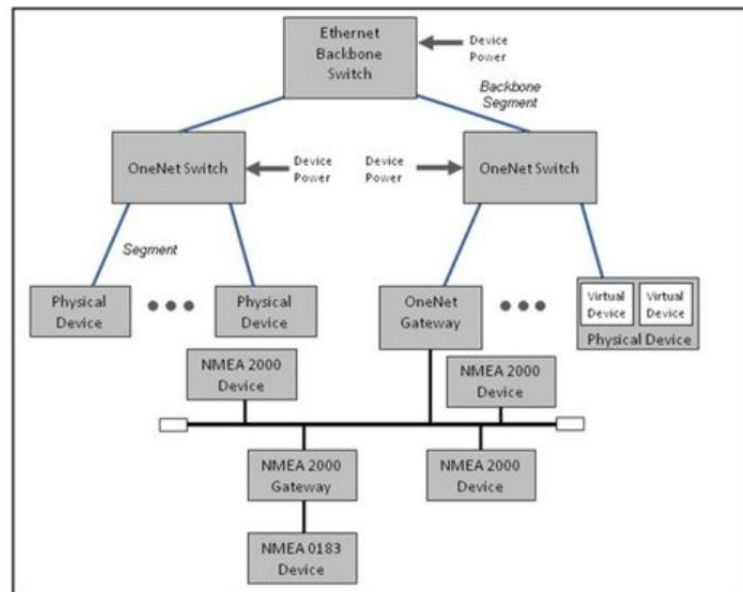


Figura 28: Esquema de l'integració de l'estàndard NMEA OneNet. Font: NMEA.

Un aspecte a favor de que l'estàndard encara no tingui grans especificacions anunciades i que no es trobi encara actualment gaire extés és el fet de que fins al moment de sortida i fins i tot posteriorment a aquest es pot trobar en un constant procés de renovació i modificació de la versió d'aquest a mesura que les tecnologies que es basen en l'Ethernet vagi evolucionant i que a mesura com per exemple incorporant cables que aportin velocitats de transmissió superiors com els de fibra òptica o el 5G en l'àmbit inalàmbic per a connexions a la xarxa a distància.

3.5. Comparativa entre NMEA 0183, NMEA 2000 i NMEA OneNet

A continuació s'incorpora una taula que actua com a resum i comparativa simultàniament entre NMEA 0183, NMEA2000 i NMEA OneNet:

NMEA 0183	NMEA 2000	NMEA OneNet
Protocol	Estàndard	Estàndard
Velocitat de transmissió: 4800 bits/s (modalitat estàndard) 38.4 Kbits/s (modalitat d'alta velocitat)	Velocitat de transmissió: 250 Kbits/s	Velocitat de transmissió: Des de 100 Mbit/s fins a 10 Gbit/s
Transmissió mitjançant el protocol NMEA 0183.	Transmissió mitjançant el protocol CAN.	Transmissió mitjançant el protocol IPv6.
Ús de sentències (ASCII).	Ús de PGNs.	Ús de PGNs.
Sempre que hi hagi només un emissor es poden connectar múltiples receptors en funció del voltatge.	Màxim d'un 50 elements connectats a la xarxa. (Amplificable a 100).	Capacitat de connexió de més de 65.000 dispositius a la xarxa.
Adaptabilitat amb altres protocols.	Adaptabilitat amb NMEA 0183. Adaptabilitat amb altres protocols.	Adaptabilitat amb els 2 anteriors casos. Adaptabilitat amb altres protocols.
No permet monitorització en format vídeo	Permet una monitorització puntual en format vídeo.	Permet una monitorització extensa en format vídeo.
Disposa d'adaptadors per a xarxes Ethernet.	Disposa d'adaptadors per a xarxes Ethernet.	Creat per a ser utilitzar conjuntament amb Ethernet.

Taula 11: Comparativa dels aspectes destacables de NMEA 0183, NMEA2000 i NMEA OneNet. Font: Pròpia.

3.6. Elements per a la connectivitat física d'una xarxa NMEA 2000

En aquest subapartat es farà un desglossament i una descripció dels diferents elements que es poden utilitzar per al muntatge físic d'una xarxa NMEA 2000, s'han agrupat en diferents grups en funció de la tasca que realitzin:

Cablejat

- Cable de mida micro: els cables de mida micro són utilitzats per a la connexió directa amb els dispositius de monitorització, en funció de com es requereixi fer el muntatge físic de la xarxa poden actuar com a cables de les branques principal o només com a cables que surten de les branques per a transmetre i rebre dades entre els dispositius i l'estàndard a partir d'una T col·locada fora de la branca principal.

Els cables d'alimentació tenen un calibre 22 AWG i els cables de transmissió de dades un de 24 AWG, la seva mida és variable: Pot variar des dels 0.5 metres fins al 10 anant de metre en metre. Les

terminacions mascle i femella tenen un diàmetre exterior de 0.59 polzades (1.5 cm), però la rosca o orifici per a establir les connexions és de mètrica 12 amb un pas de 1 mm, el cable micro té un diàmetre de 0.28 polzades (7.2 cm), aquests cables per el seu possible àmbit de treball disposen d'una protecció IP68, el 6 indica que aquest cable és totalment estanc a la pols i el 8 que ofereix protecció si el cable es troba submergit sota pressió.



Figura 29: Cable de mida micro amb una terminació mascle i una femella. Font: Maretron.

- Cable de mida mid: Els cables de mida mid són, en molts aspectes, similars als de l'anterior subapartat però tenen certes variacions tan en l'àmbit físic com en la funció que han de desenvolupar. Aquests cables s'utilitzen per a les branques principals de la instal·lació. A nivell de dimensions i protecció és idèntic a l'anterior tipus a excepció diàmetre del cable, aquest és de 0.33 polzades (0.84 cm) i d'un calibre 18 AWG per als cables d'alimentació i un calibre 20 AWG per a cables de transmissió de dades.



Figura 30: Cable de mida mid amb una terminació mascle i una femella. Font: Navstore.

- Cable de mida mini: Per últim, els cables de mida mini tenen exactament les mateixes especificacions comuns dels dos anteriors a excepció de: IP67 on el 6 indica que disposa de protecció completa envers la pols i el 7 la capacitat de protecció si el cable es troba submergit sota l'aigua de manera continua.

A més aquests tipus de cables són els que en la majoria de casos s'utilitzen per a establir una connexió fins a una T, això és degut a que aquest cable al tenir menys resistència que els cables micro i mid i també té una caiguda de tensió menor, fet que permet emparar aquest tipus de cables en instal·lacions de major longitud (el cable té un calibre 15 AWG per a l'alimentació i un calibre 18 AWG per a transmissió de dades), a nivell de dimensions aquest cable té un diàmetre de 0.44 polzades (11.3 mm) i un diàmetre de les connexions de 0.875 polzades (22,225 mm) amb un pas de 1,587 mm.



Figura 31: Cable de mida mini amb una terminació mascle i una femella. Font: Maretron.

Existeixen un seguit de variacions menors dels cables vistos anteriorment, Maretron, una empresa membre de NMEA ofereix tots els seus productes amb terminacions metàl·liques, existeixen altres productes amb terminacions de nylon, i aquest últim es pot desgastar al efectuar connexions amb les terminacions metàl·liques, el cable ofert per Maretron consisteix en una terminació que actua com a una transició entre aquests dos per a passar d'un tipus a l'altre. Per últim existeixen els cables d'un sol gènere, és a dir amb les dues terminacions iguals per a complir objectius específics com és el cas de les caixes multiport que es veuran més endavant, com a inconvenient, aquests tipus de cables només són de mida mini.



Figura 32: Respectivament, cable amb terminacions de nylon i d'un sol gènere. Font: Maretron.

Tots els cables mencionats fins ara tenen la següent estructura: el seu exterior està recobert de PVC i el seu interior és format per 5 cables: El primer cable és d'un color grisenc i és un cable apantallat que serveix per a evitar interferències en la transmissió de dades, a continuació els cables vermell i negre són els que actuen com a pols positiu i negatiu per a l'alimentació elèctrica del cablejat i la xarxa, per últim els cables blau i blanc actuen com a transmissors de dades, on el primer actua com a CAN baix i el segon com a CAN alt.

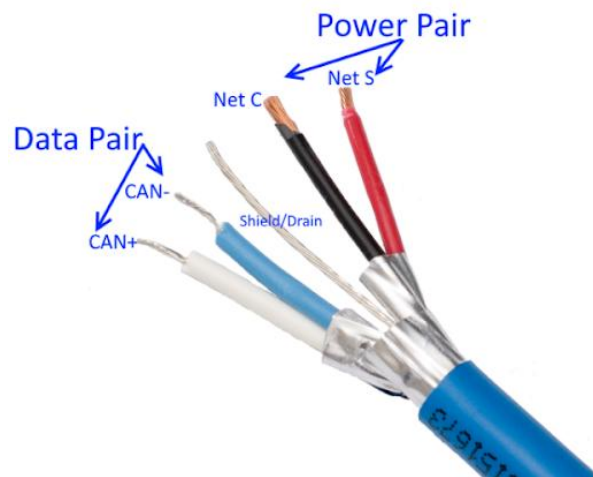


Figura 33: Estructura interna d'un cable. Font: Maretron.

Connectors

- *T* Mini: aquests elements són anomenats *T* per la forma que tenen similar a la lletra. Aquestes peces són les més importants a nivell de connexió física degut a que totes elles són el nexa entre els elements que es connecten a la xarxa amb l'estàndard, per tant, la seva funció és assegurar la transmissió i la rebuda de dades a ambdues bandes. Estan dissenyades per a que a l'acabat d'un cable s'hi pugui connectar una *T* per on per l'altre extrem de manera continua amb la connexió del cable es pot estendre la longitud de la línia, de manera perpendicular sobresurt una altre sortida dirigida a la connexió dels elements de monitorització.

La *T* mini tal i com s'ha vist a l'apartat del cablejat és, de les tres tipus de mides, la mini és la de majors dimensions, i per tal d'acomodar els diferents requisits d'instal·lació existeixen dos variacions d'aquesta *T*, la primera senzillament té les seves tres sortides de mina mini, l'altra disposa de les dues sortides de línia de mida mini i la seva sortida cap als elements a afegir de mida micro o mid, reduint així el diàmetre canviant el tipus de cable utilitzat.



Figura 34: Mini T. Font: Maretron

- T Micro i Mid: tenen exactament les mateixes funcions que l'anterior T, però en aquest punt es tracten igual les micro i les mid perquè aquestes no tenen cap tipus de variacions, les 3 sortides de la T són de la mateixa mida i per tant l'única diferència entre tipus és el diàmetre de les connexions, però també cal destacar que al no poder modificar aquest diàmetre. La xarxa que es connecta ha de ser íntegrament d'aquella mida a no ser que es disposi d'un adaptador.



Figura 35: Mid T i micro T. Font: Maretron

Variacions de les connexions T: les variacions de Ts que existeixen s'apliquen als tres tipus de mida de connexió i poden ser requerides en funció de l'espai on es trobi la instal·lació. Es podria donar el cas de que el cablejat hagi de recórrer cantonades, hagin de doblegar-se adquirint posicions que poden ser perjudicials per al correcte estat d'aquest o la connexió no sigui possible en espais estrets on no es pugui separar la línia en dues sortides, per tal d'evitar aquestes conseqüències existeixen Ts però amb només dues sortides, que es troben perpendiculars entre elles, amb aquest element es corregeix i s'evita tot el que s'ha mencionat anteriorment. Existeix, a més, un model que serveix per canviar el gènere de les connexions però en aquest les connexions no es troben separades de manera perpendicular sinó que estan col·locades per a perpetrar amb la branca o línia de la que provenen.



Figura 36: Connexions per a 90°. Font: Maretron.

- Adaptadors: es consideren dos tipus d'adaptadors, els primers són aquells que serveixen per a establir una connexió que pot ser mascle o femella. A priori no era possible que n'hi hagués una per raons com per exemple que no hi ha cap model de cable d'una mida requerida.

Els adaptadors són col·locats sempre que un cable sigui pelat, i s'extregui la cobertura de PVC, els cables del seu interior es poden fer passar per l'adaptador, el qual té senyalitzat a on va cada cable, l'adaptador pot tolerar cables de fins el calibre 18 AWG, el que significa que a part de corregir i modificar la instal·lació física també permet fer adaptacions de cables mini per a aquells circuits que disposin només de 7s amb les tres sortides de la mateixa mida, el segon tipus no adapta de cable a connexió sinó que també funciona a l'inversa de l'anterior tipus, l'adaptador estableix la connexió i també permet reduir la mida d'aquesta de mini a micro.



Figura 37: Adaptadors per al cablejat. Font: Maretron.

- Terminacions: dins dels connectors hi ha la part de les terminacions, cada línia establerta requereix que a cada extrem d'aquesta hi hagi una terminació, la finalitat es proporcionar un element que actui com a resistència elèctrica, la resistència elèctrica de les terminacions és de 120 Ohms i poden arribar a dissipar una potència de 0.5 Watts.

N'existeixen de tres tipus: mascle, femella i d'interior de línia, les dues primeres no presenten cap diferència en el seu àmbit de treball, tot i que generalment solen ser mascle ja que en la majoria de casos des de les fonts d'alimentació de la xarxa s'hi connecta un cable per la part del mascle deixant la

femella lliure per a la connexió de les terminacions resistives, l'última, la terminació d'interior de línia s'utilitza quan al final de la línia hi ha un sol dispositiu a connectar, permetent simplificar el muntatge i reduir en nombre de *T*'s utilitzades (com per exemple el GPS).



Figura 38: Terminacions resistives mascle, femella i d'interior de línia respectivament. Font: Maretron.

Fonts d'alimentació

- Font d'alimentació *T*: és una *T* micro o mid com les explicades anteriorment, però aquesta en primer lloc és de color groc, el color groc dins del context del NMEA 2000 correspon a l'alimentació elèctrica de la xarxa, al ser una *T* permet configurar la xarxa en dues branques diferents. Aquesta font d'alimentació està dissenyada per a connectar cables i elements de mida micro, des de la font es pot connectar mascle o femella, té una intensitat nominal de 3 i 4 Ampers per branca a mides micro i mid respectivament.

A nivell de cablejat elèctric, la font d'alimentació té cinc cables. Aquests cinc cables es divideixen en tres grups: dos grups de dos cables cadascú, per a alimentació i transmissió de dades i un grup amb un sol cable per a apantallament, al tenir la font dues branques, fa que dins de la font hi hagi un cable estès en les dues direccions de la xarxa i que a partir d'aquest cable bidireccional hi hagi una derivació que ajunti les dues bandes de la xarxa i les porti cap al subministre elèctric.

Es disposa d'un parell de fusibles com a elements de seguretat envers curtcircuits, els cables CAN i els d'alimentació van connectats a una corrent continua i aquesta ha de ser d'entre 9 i 16 Volts DC, generalment utilitzant 12 Volts DC, per últim els cables que es troben connectats a la polaritat negativa i el cable que es troba apantallat van connectats a terra.



Figura 39: Font d'alimentació *T*. Font: Maretron.

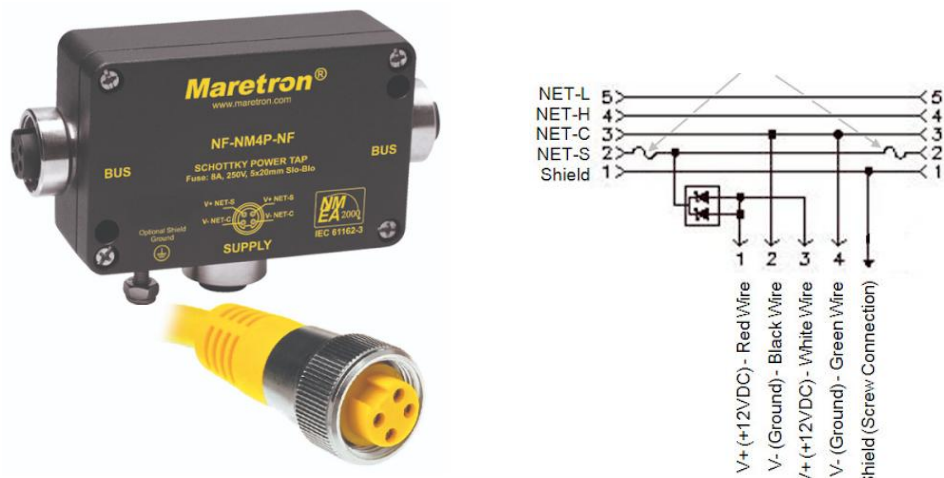


Figura 41: Font d'alimentació T gran i la connexió interna del seu cablejat. Font: Maretron.

Adaptadors

Alguns dels adaptadors més importants a destacar són:

- Adaptador NMEA 0183 a NMEA 2000:

Es tracta d'un cable que fa la funció de gateway, un element d'interconnexió entre dos dispositius diferents i que té la tasca de traduir el protocol d'una xarxa. Aquest és reconfigurat per a que sigui comprensible per a el segon protocol, aquest tipus d'adaptadors solen ser bidireccionals, es a dir poden adaptar de NMEA 0183 a NMEA 2000 o en el sentit contrari, degut a que el primer és una interfície i el segon és una xarxa. L'adaptador consisteix en un mascle o una femella per la part de NMEA 2000 i un cablejat que surt de l'adaptador que transmet directament dades a la xarxa NMEA 0183.

S'ha consultat informació sobre un model ofert per una empresa membre de NMEA que es diu Yacht Devices que proporciona aïllament galvànic entre les dues parts a connectar i també inclou una modalitat per a funcionar amb el Seataalk de Raymarine.



Figura 42: Adaptador de NMEA 0183 a NMEA 2000. Font: Yachtd.

- Adaptador de Raymarine a NMEA 2000 DeviceNet

Actualment, en l'àmbit naval existeix una empresa anomenada Raymarine que també es dedica a la producció i venda de productes com sensors i altres elements electrònics dedicats a la monitorització i al control d'embarcacions. Raymarine manté amagat en gran part el funcionament del seu estàndard, tot i que aquest catàleg de productes funciona amb un estàndard propi que es diu Seatalk. A nivell cronològic va sortir al mercat al mateix temps que l'estàndard NMEA 0183, l'estàndard Seatalk aleshores presentava certes característiques millors respecte a l'altre, però amb l'arribada del nou NMEA 2000, el Seatalk va començar a quedar desfasat. Tot i així ofereix productes certificats i aprovats per la pròpia NMEA per a ser utilitzats en xarxes NMEA 2000.

Per a tal propòsit es requereix d'un cable adaptador que permet acoblar aquests dispositiu: això és degut a que les terminacions mascles i femella com a tal no existeixen en el Seatalk. Les connexions són diferents i a més cal que un element intermig sigui capaç de convertir les dades d'un estàndard a unes que puguin ser enteses per l'altre actuant com a gateway. Per tant aquesta adaptació ha de comptar per una banda una part per efectuar una connexió amb la xarxa NMEA 2000 i per l'altra part amb Seatalk, aquesta connexió es fa amb el cable DeviceNet del qual existeixen dues versions, una amb terminació mascle i una amb terminació femella. Aquests cables poden ser de diverses longituds (en metres): 0.1, 0.4, 1.0 i 1.5.



Figura 43: Respectivament, adaptador DeviceNet per a Raymarine i NMEA 2000 amb terminació mascle i femella.

Font: Raymarine.

- Adaptador J1939 a NMEA 2000:

La SAE 1939 és un estàndard per a xarxes amb topologia en bus utilitzada en vehicles, existeixen adaptadors d'aquest estàndard al NMEA 2000, però segons informació consultada només determinats motors d'uns fabricants concrets fan servir aquest estàndard, no s'ha trobat gran rellevància dins de l'àmbit d'estudi.

- Adaptador de senyal analògic a digital:

Es tracta d'un adaptador multi tasca, podent ser utilitzat dins i fora de la sala de màquines monitoritzant nivells de tancs, pressions, temperatures i proporcionar alarmes, aquest adaptador com bé indica el seu nom permet adaptar senyals analògics a digitals i interpretables per al protocol CAN i la xarxa NMEA 2000.

Un adaptador d'aquest tipus és l'adaptador AlbaCombi: el procediment d'adaptar el senyal es produeix gràcies a que l'adaptador és programable, un cop connectat a la xarxa aquest adaptador es calibra automàticament o per part dels usuaris per a adaptar-se al estàndard utilitzat per aquesta o l'escollit per l'usuari, un cop establerta la connexió es defineix el paràmetre a monitoritzar amb el seu nom, d'on prové el senyal, quin tipus de senyal és i en quines unitats es mesura, es delimiten els valors màxims i mínims admissibles i es programen alarmes si aquests són excedits des d'una interfície o ordinador.



Figura 44: Adaptador AlbaCombi. Font: AlbaCombi.

Existeixen dos tipus de funcions que pot fer depenent de l'element que hagi de monitoritzar, aquests adaptadors poden ser connectats directament a la maquinària si aquesta té capacitat per a mesurar analògicament la magnitud (com per exemple manòmetres o termòmetres d'agulla) o pot ser connectat a un sensor, tot i que la connexió analògica varia en funció del tipus i model de màquina.

- Adaptador NMEA 2000-Ethernet o similars:

Més endavant, a l'apartat 6 del treball s'explica els motius i la necessitat de disposar aquests elements a bord, el seu funcionament és el d'un gateway, fent de pont entre dos estàndards diferents disposant per una banda una entrada per a cablejat NMEA 2000 i una entrada per als cables coaxials utilitzats per a xarxes Ethernet. Aquest adaptador permet crear una xarxa Ethernet LAN o WAN en funció de l'accés que es vulgui donar a aquesta, ja que un cop acoblat l'adaptador es pot afegir un router que pugui proporcionar WI-FI tornant part de la xarxa inalàmbrica augmentant els tipus de dispositius que es poden connectar per a monitoritzar com per exemple ordinadors portàtils o dispositius com tablets si disposen del programari adequat, a més si el vaixell disposa d'Internet per satèl·lit podria incorporar monitorització des de terra.

Tot i que aquest tipus de gateway no és únic per a Ethernet, existeixen altres estàndards creats per a la mateixa finalitat que també poden crear xarxes inalàmbriques de monitorització a bord.

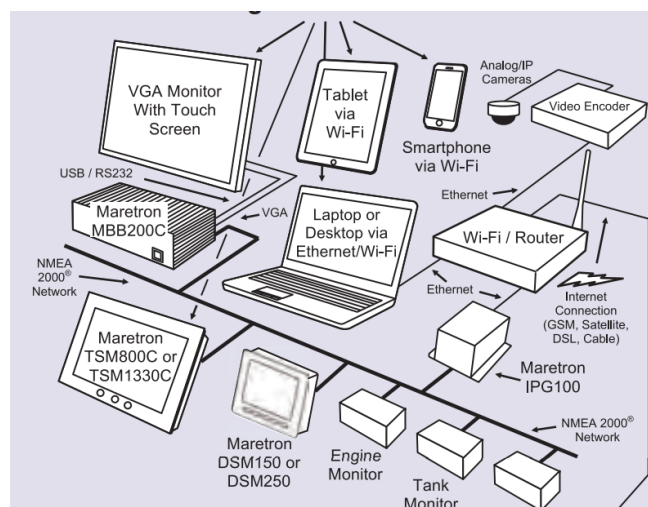


Figura 45: Adaptador NMEA 2000-Ethernet. Font: Maretron.

- Altres

Caixa Multiport: l'objectiu de les caixes multiport és eliminar redundàncies, reduir el nombre de connectors i de cablejat necessari, que es tradueix també en un disseny físic de la xarxa més senzill i intuïtiu però igual de funcional, es tracta d'una caixa que inclou un conjunt de quatre connexions femella situades una a continuació de l'altre, aquesta caixa però, requereix d'un cable auxiliar amb ambdues terminacions femella dobles per a connectar la caixa amb el circuit de la xarxa.



Figura 46: Caixa multiport. Font: Maretron.

- Connector “a través”: aquest connector té l’excel·lència en el seu àmbit de treball, aquest connector es col·loca a través de mampares o parets, un cop situat permet establir connexió entre les dues bandes sense perdre estanquitat.



Figura 47: Connectors a través de diferents mides. Font: Maretron.

3.7. Muntatge d’una xarxa NMEA 2000

Les xarxes NMEA 2000 són “plug and play”, és a dir el sistema de muntatge és senzill i intuïtiu per als usuaris on aquest ha d’anar establint connexions mascle-femella o femella-mascle (les més habituals) fixant aquestes connexions enroscant una peça que cobreix aquesta, tot i que a nivell d’habilitat per a establir les connexions ho pot fer qualsevol usuari, per a la configuració i posicionament dels elements de monitorització i les terminacions hi ha un seguit d’especificacions i requisits que s’han de complir. Abans es fa un breu glosar relacionat amb el muntatge:

- Backbone: cable que actua com a centre de la xarxa, degut a la topologia de la xarxa a partir d’aquest cablejat surten les connexions cap als elements de monitorització d’aquesta, al llarg del treball

s'anomena branca a cada extrem del backbone agafant com a referència una font d'alimentació que serveix per a visualitzar les dues direccions en la que la xarxa es configura.

- Drop Line: la drop line és el cablejat que connecta els elements de monitorització.
- Node: connexió entre l'element de monitorització i la xarxa a través de la drop line i el backbone mitjançant l'ús d'una T.
- LEN (Load Equivalent Number): es tracta d'un valor que quantifica el corrent que requereix un element connectat a la xarxa, l'equivalència és la següent: 1 LEN equival a 50 mA, aquesta informació ve proporcionada pel fabricant i s'ha de tenir en compte per als càlculs relacionats amb el dimensionament de la xarxa.

El muntatge comença instal·lant una font d'alimentació en una posició idònia per a poder subministrar alimentació a tots els dispositius que es connectaran, d'on a partir d'aquesta s'estableixen connexions de node en node a través de cables i Ts creant el backbone, si escau les dues branques en direccions oposades, a cada node es munta el cablejat que forma la drop line fins als elements de monitorització i finalment es connecten les dues terminacions resistives al final de cada extrem del backbone.

La xarxa ha de contenir com a màxim cinquanta elements connectats al llarg d'aquesta, per tant això implica que el nombre de nodes tampoc pot excedir de cinquanta. A més cal tenir en compte el fet que les connexions que s'efectuen amb els elements de monitorització o entre cables, Ts i terminacions resistives i propi cablejat també tenen una resistència pròpia, aquesta a determinades longituds pot adquirir valors considerables que causin que no tot el voltatge requerit arribi als elements destinataris. Tot i això, existeixen dispositius que permeten doblar la capacitat de nodes i elements connectats.

A continuació hi ha una taula que resumeix i indica les longituds màximes permeses per cable entre connexió i connexió per tal d'evitar l'efecte mencionat anteriorment.

<u>Cablejat</u>	<u>Distància màxima</u>
Backbone de mida micro	100 metres
Backbone de mida mid	250 metres
Backbone de mida mini	250 metres
Dropline	6 metres
Suma de totes les dropline de la xarxa (per a dispositius multiport)	78 metres

Taula 12: Taula de distàncies tolerades per cable. Font: Pròpia.

La xarxa ha de ser connectada a la presa de terra, en el sector naval les preses de terra han de garantir resistència a la corrosió per a embarcacions amb cascs metàl·lics o d'alumini hi ha d'haver diversos punts de connexió al llarg d'aquest, en cas de cascs de materials aïllants o poc conductius si el material és aïllant i la xarxa té una alimentació superior als 50 Volts la presa de terra ha d'estar connectat a una làmina de coure que es troba unida al casc i que sempre es troba per sota del nivell de l'aigua i que té una superfície de $0,2 m^2$.

Els elements de monitorització es divideixen en una o dues parts a instal·lar en funció dels sensors a emplaçar, els sensors com el GPS o les antenes són connectades directament a la xarxa de la manera descrita anteriorment, però els sensors de monitorització que són els que formen part del treball tenen un procediment diferent, ja que compten amb el propi sensor i posteriorment l'adaptador que transforma el senyal rebut i el comunica a la xarxa.

Els adaptadors tenen diverses formes, poden tenir forma de caixa i incorporar múltiples punts de connexió per a diversos sensors o un tipus més senzill d'adaptador amb forma de cable amb possibilitat de connectar un únic sensor.

Per als adaptadors amb múltiples terminals s'ha de localitzar una posició on es puguin connectar tots els sensors necessaris i posteriorment fixar la caixa.

Per als adaptadors individuals el cable ha de ser col·locat de tal manera de que no quedi penjant ni posicions forçades per el que es poden incloure elements per a fixar aquests, en qualsevol cas sempre es pot afegir el cablejat necessari en cas de que en primer lloc no es disposi de suficient longitud de cable per al muntatge.

La instal·lació de sensors es divideix en la connexió d'aquests a la xarxa i la col·locació d'aquests. La connexió d'aquest és idèntica per a tots els sensors i els cables d'alimentació amb polaritat positiva i negativa es connecten al subministrament elèctric de la xarxa o a un individual (s'explica la connexió feta amb dos cables perquè així acostuma a ser, tot i que hi ha variacions que incorporen més cables encara que el procediment és el mateix).

Si l'adaptador al que es connecten només permet una única connexió aquest sensor ja queda integrat i fàcilment identificable a la xarxa, per a adaptadors múltiples les connexions van numerades i cal que les connexions s'estableixin d'una manera planificada i que permeti recordar quines connexions corresponen a cada sensor, un fet important cara a la monitorització i informació que proporciona la interfície quan es visualitza les dades rebudes d'aquell adaptador.

A part, queda la instal·lació del sensor dependent de quin tipus sigui aquest degut a que a l'estar funcionant en diferents ambients hi ha condicions específiques de cadascun d'ells a tenir en compte per separat.

Per a sensors relacionats amb el flux de combustible o altres fluids cal assegurar que el sensor sigui col·locat en la direcció a la que es mou el fluid i no a l'inversa, preferiblement en una posició on el fluid passi a través del sensor en direcció ascendent, evitant que es causin bombolles que puguin distorsionar el senyal. Per al combustible exclusivament a més el sensor s'ha de procurar posicionar lluny respecte el motor i posteriorment al filtre de combustible per a que no resulti malmès.

Per a aquells sensors de pressió que s'han de trobar submergits com per exemple en tancs sempre que hi hagi una obertura al tanc compatible amb el sensor aquest s'introdueix fins al fons d'aquest i es fixa la seva posició.

A nivell elèctric el propi adaptador funciona d'aparell de mesura, consta d'un terminal de polaritat positiva i una negativa i aquests ens connecten en paral·lel de la càrrega o element a mesurar el seu voltatge, com a requisit extra cada connexió feta ha de disposar en un dels dos terminals un fusible.

Per als anteriors sensors i la resta que no són mencionats tenen els requisits generals d'assegurar el seu fixat i la posició on es col·loca.

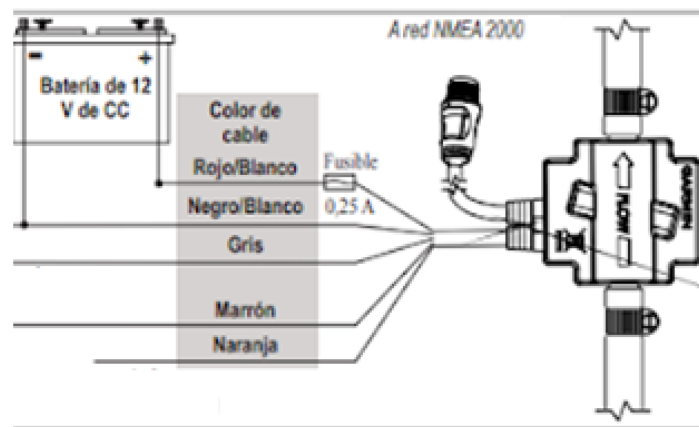


Figura 48: Instal·lació d'un sensor de cabdal connectat a una font independent. Font: Garmin

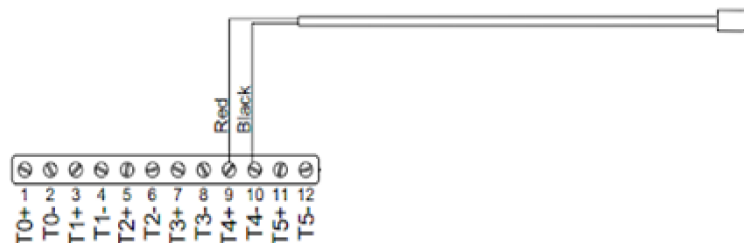


Figura 49: Instal·lació d'un sensor a un adaptador amb múltiples connexions. Font: Maretron.

Per als sensors que es situen a través del casc es fa una perforació al casc i es col·loca el sensor a través de l'obertura i un cop col·locat es fixa externament amb un agent adhesiu, a més el sensor disposa d'una rosca per a assegurar l'estanquitat. Alguns sensors a més disposen d'una molla interna que contraresta tota força que pugui exercir l'aigua de mar o el fluid.

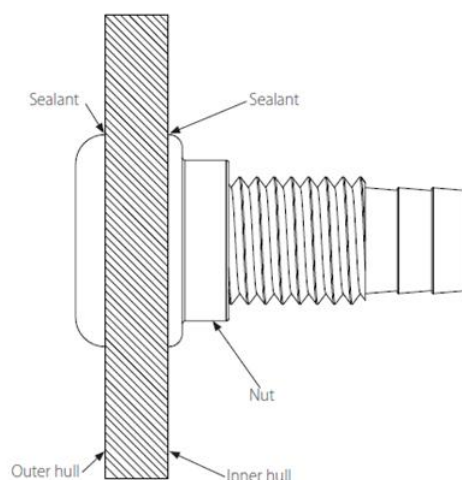


Figura 50: Instal·lació d'un sensor through hull. Font: Navico.

Un cop el sensor es troba connectat cal verificar que ha estat connectat correctament i que apareix a la interfície de control, des d'on posteriorment s'acaba de configurar.

En darrer lloc s'exemplifica amb una representació senzilla com es fa la connexió d'un termòmetre analògic a un adaptador.

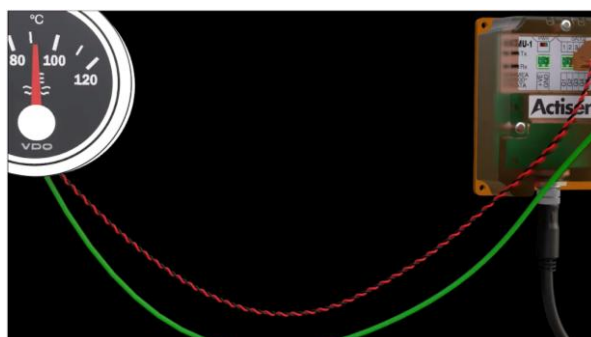


Figura 51: Connexió de senyal analògica a adaptador de senyal. Font: Actisense.

Un cop tot aquests passos s'han dut terme queda disposar de dos últims passos: el primer, tot i que no és obligatori és, molt recomanable i consisteix en deixar just al costat de la font d'alimentació una T sense connectar per a afegir aparells de diagnòstic o un dispositiu addicional.

L'últim pas és connectar una o diverses interfícies a la xarxa, en funció del mètode escollit per a la monitorització, aquest es pot connectar un ordinador mitjançant un gateway o mitjançant una interfície directament, tot i que a efectes pràctics la visualització que es fa dels diversos elements és la mateixa i les opcions de configuració també.

Les interfícies són intuïtives i de senzilla facilitat d'utilitzar i configurar, si les connexions s'han fet correctament es detecten els elements connectats a la xarxa automàticament, alguns d'ells també al connectar-se quan la xarxa està en funcionament.

El primer pas al detectar un dispositiu afegit consisteix en el "instancing", que es basa en assignar un número propi a cada dispositiu per a no confondre la informació que aquest envia i la prioritat d'aquesta informació, que estableix quin dispositiu té preferència per a transmetre al llarg del bus. Posteriorment es pot personalitzar, editant els noms dels dispositius i les descripcions de les alarmes, configurant diversos paràmetres com la duració i la repetició d'aquestes, poder modificar els paràmetres que les activen com el valor concret o les unitats amb les que es vol representar la magnitud a monitoritzar.

(La següent imatge és una interfície per a monitoritzar exclusivament motors).

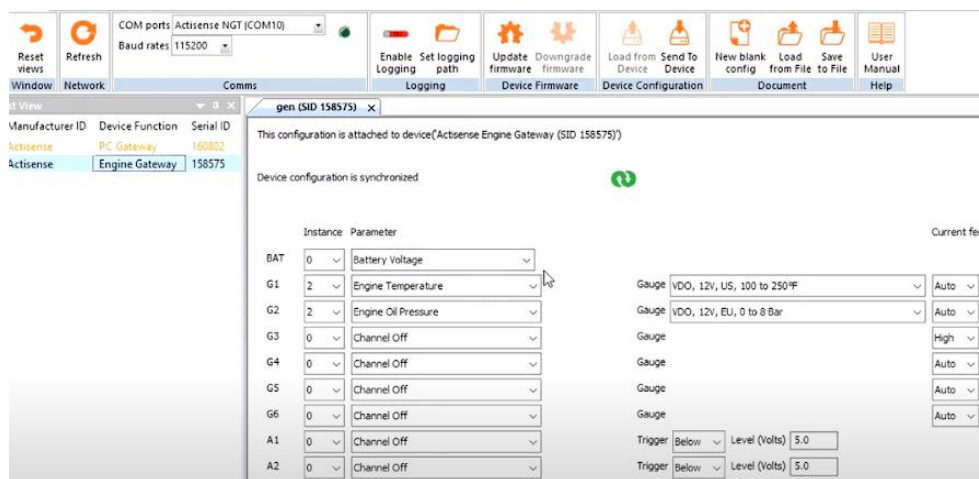


Figura 52: Interfície per a monitoritzar motors NMEA reader.

Font: Actisense.

Utilitzant N2KView s'ha simulat programar una alarma d'alt nivell per a la temperatura de la refrigeració del motor.

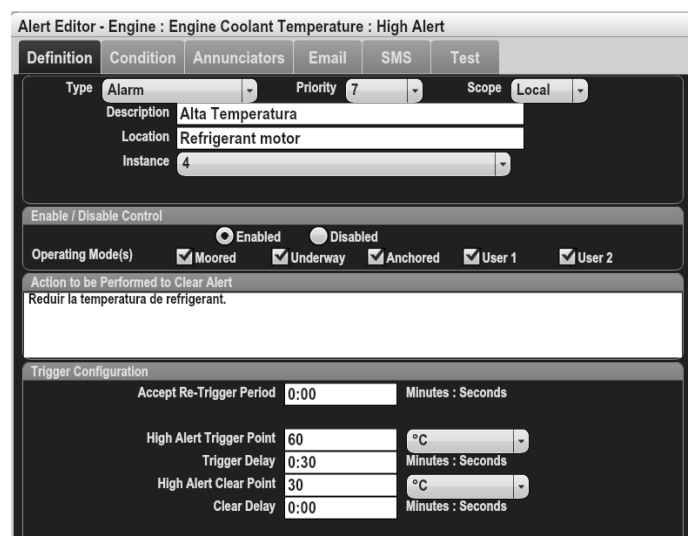


Figura 53: Simulació de programació d'alarmes per a N2KView (1). Font: Pròpia.

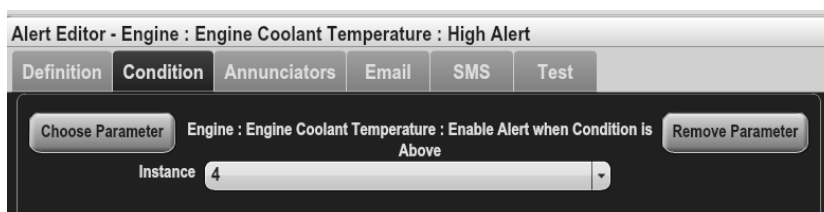


Figura 54: Simulació de programació d'alarmes per a N2KView (2). Font: Pròpia.

3.8. Manteniment d'una xarxa NMEA 2000

Aquest subapartat es desglossa en dos blocs: el primer és un recull de definicions i informació sobre els tipus de manteniment existents i que poden ser aplicats una xarxa NMEA 2000 després d'haver buscat dades i detalls de fabricants i usuaris de l'estàndard de com es pot fer aquest i ser classificat; el segon consisteix en els passos a seguir per a efectuar el manteniment i quines eines o condicions es requereixen per a poder efectuar aquest.

El primer tipus de manteniment és el correctiu. El manteniment correctiu és aquell que es fa a un element en el moment en el que aquest ja ha experimentat una avaria o un comportament anòmal i que té la funció de retornar l'element en un estat en el que torni a funcionar correctament.

El següent tipus de manteniment és el preventiu, que consta de l'ús de recanvis i de reparacions d'elements. Aquests procediments es fan cada certs períodes de temps ja determinats per un seguit de criteris establerts que tenen en compte conceptes com la fiabilitat dels elements. Aquest manteniment, tot i això, no té en compte l'estat en el que es troben els elements, per el que durant cada recanvi es pot arribar a perdre part de la vida útil d'aquests, malgrat tot permet actuar abans de que es produeixi l'avaría.

Els dos tipus de manteniment són planificats, a més, el correctiu pot no ser-ho degut en que es basa, ja que pot ser requerit degut a avaries o emergències. A nivell econòmic depèn del pressupost i del responsable a càrrec del manteniment ja que els dos són vàlids per al correcte estat i funcionament de la xarxa.

Les principals diferències entre els dos tipus són el fet que a nivell de costos el correctiu està dissenyat per a elements de baixa criticitat i que a l'avaríar-se puguin ser reparats sense incidències i també requereix d'una planificació de curt termini, en canvi el manteniment preventiu té planificacions més extenses però té un impacte en la xarxa menor quan es fa.

Un model de manteniment és una barreja de tipus de manteniment per a adaptar-se als requisits d'una instal·lació concreta, el model que conté procediments correctius i predictius i que s'ajusta als requisits de la xarxa física NMEA 2000 és el model sistemàtic.

Respecte als procediments de manteniment de la xarxa, partint del model sistemàtic proposat en primer lloc la part correctiva d'aquest consisteix en inspeccions visuals planificades de les connexions al llarg de la línia i cap als elements de monitorització, juntament amb les terminacions de la línia. L'objectiu d'aquestes inspeccions és assegurar el correcte estat dels elements físics de la xarxa, però com que és correctiu en cas d'averia aquestes inspeccions també es realitzarien per a determinar la causa de l'error i reparar o substituir l'element que ha deixat de funcionar.

Un tipus d'inspecció visual més complexa que l'anterior és aquella que requereix endoscòpis degut a la posició on es troben col·locats els elements a inspeccionar, la tècnica visual d'utilitzar sondes òptiques s'usa per a examinar zones on una inspecció visual resulta complexa d'efectuar.

Aquestes zones són: les cantonades estretes i de difícil accés on s'utilitzen les Ts amb terminacions separades en 90°C, i els interiors de maquinària que contenen sensors com el motor, la caldera, la turbina, les canonades de subministrament de combustible d'aquestes i l'interior de tancs. Aquestes accions estan més enfocades a un manteniment predictiu i més planificat degut a que per a realitzar-les s'han de fer quan l'element a inspeccionar es troba fora de servei.

Un apartat a fer menció de manera individual són els connectors que van a través de mampares i els sensors que es troben a l'interior de maquinària, ja que aquests durant la seva instal·lació requereixen un procediment per a assegurar l'estanquitat i una inspecció posterior a la instal·lació per a evitar fugues.

El manteniment proposat per a aquests tipus d'elements degut a la criticitat que podria suposar haver de reparar o recanviar un connector o un sensor que causi fugues és un correctiu planificat on les tasques consisteixen en tornar a estrènyer aquests elements (molts d'aquests sensors tenen un dispositiu on una molla exerceix una pressió superior i contrària a la que exerceix l'aigua o el fluid) juntament amb inspeccions visuals i el recanvi de juntes tòriques per a prevenir possibles fugues.

A nivell elèctric hi ha un seguit de mesures a realitzar sobre la instal·lació que es poden fer amb dues eines diferents, la primera és amb l'ajut d'un multímetre i la segona amb una eina especialitzada que es diu N2Kmeter i que es tractarà en un paràgraf de manera individual. Les tasques que es fan amb el multímetre es poden fer de manera correctiva un cop hi ha hagut una averia o de manera preventiva.

La primera és comprovar l'estat dels fusibles que es troben connectats al cablejat de les fonts d'alimentació, en primer lloc amb una inspecció visual seguidament d'una prova de continuïtat amb el multímetre. Un altre procediment a realitzar és la comprovació que la tensió subministrada a la xarxa des de les fonts d'alimentació és la correcta i es comprova connectant els terminals del multímetre als cables o als pins que hi ha als connectors que actuen com a positiu i al que actua com a negatiu. Aquesta mesura es considera com a correcte quan el voltatge mesurat és de 12 Volts de corrent continua o valors molt similars i propers.

També cal mesurar la resistència de la pressa de terra dels cables. Per a fer-ho es comproven les resistències que tenen els cables que es connecten amb la polaritat negativa i l'apantallat, els valors obtinguts han de ser de pocs ohms ja que es troben connectats a terra i han de facilitar el pas del corrent a través seu en cas de que hi hagi un mal contacte.

Per últim queda la comprovació de la resistència dels cables de transmissió de dades CAN, connectant els terminals al cable o pin i obtenir el valor de la resistència. El valor ha de ser 60 Ohms o un valor molt proper, en cas contrari cal comprovar la connexió i l'estat de les terminacions, ja que un valor de 120 Ohms indica que només hi ha una terminació resistiva connectada i un valor superior a aquest indica que no n'hi ha cap.

A continuació es tracta el N2Kmeter, que és una eina de diagnòstic exclusiva per a xarxes NMEA 2000. Té una forma similar a un multímetre però en comptes dels dos terminals per a connectar disposa d'un cable mid, mini o micro per a ser connectat directament a la xarxa. Les funcions que pot fer aquesta eina són: mesurar circuits oberts o fugues, mal apantallament, males connexions tant de nodes com terminacions, detecció d'una topologia de xarxa errònia si el muntatge es fa malament i mesurar el voltatge de la xarxa.

El seu mode de funcionament més útil i més intuïtiu de fer servir és l'autodiagnòstic, on el N2Kmeter busca errors en la xarxa i informa a l'usuari amb un icona d'una careta contenta, una seriosa i una trista si tot funciona correctament, hi ha un error que es pot gestionar i reparar amb temps o un error molt greu que s'ha de reparar immediatament. Les dues últimes cares van acompanyades d'informació addicional que indica on i perquè s'ha detectat una anomalia.

La pantalla que actua com a interfície també indica el nombre de nodes de la xarxa per a poder ubicar l'avaría, els indicadors per a la bateria que té l'eina i altres magnituds com el voltatge, el nombre d'errors per segon que conté la xarxa, l'ample de banda i la velocitat de la transmissió de dades.



Figura 55: Connectors a través de diferents mides. Font: Maretron.

El N2Kmeter pot indicar els següents tipus d'errors relacionats amb el manteniment:

- Per a errors de transmissió de dades de la xarxa cal: determinar si la longitud dels cables podria ser la font del problema, moure o alterar la posició dels connectors o cables que es considerin potencialment avariats i comprovar si alteren la transmissió de dades. En cas de que persisteixin els errors s'hauria de considerar canviar el cablejat i els connectors.

- Per a errors amb el voltatge d'alimentació cal: determinar si hi ha algun voltatge transitori per sobre o per sota dels límits tolerats, inspeccionar la font d'alimentació, amb més motiu si ja porta molt de temps en funcionament, moure o alterar la posició dels connectors o cables que es considerin potencialment avariats i comprovar si alteren la transmissió de dades. En cas de que persisteixin els errors s'hauria de considerar canviar el cablejat i els connectors, revisar la posició dels cables de transmissió de dades per si es troben en una posició amb interferències i inspeccionar si hi ha un element que no forma part de la xarxa sent alimentat per la font.

- Per a errors de CMV (Common Mode Voltage): el CMV és un voltatge residual que apareix en els cables de transmissió de dades degut a que les resistències pròpies dels cables a determinades mides causen una caiguda de tensió suficient com per a que no tot el circuit quedi alimentat amb el voltatge teòric.

Aquest també pot aparèixer degut a soroll: interferències provinents de fora de la xarxa i variacions de la càrrega brusques al connectar i desconnectar múltiples elements, aquest voltatge causa errors en la transmissió de dades al excedir els voltatge usual en el cablejat de transmissió.

Els procediments per a tractar amb el CMW són: comprovar el corrent requerit per tots els elements connectats de forma simultània, moure la ubicació de la font d'alimentació a un lloc cèntric dins la xarxa o situar-la més a prop d'aquells elements que requereixen de més corrent que la resta. Si no fos suficient l'anterior pas s'ha d'afegir una segona font d'alimentació i separar el cablejat sota els efectes dels soroll de la seva font.

L'últim punt a tractar és el manteniment de tot element de monitorització que es connecta a la xarxa i es resumeix el manteniment d'aquests en tres tipus: Interfícies, adaptadors i sensors de monitorització.

Tots els elements comparteixen un seguit de procediments comuns a realitzar: La neteja del dispositiu amb un tros de tela i evitar utilitzar líquids de neteja amb elements químics que puguin deteriorar la superfície del dispositiu, emprant una inspecció visual primer, observar la subjecció i la connexió del dispositiu i tornar a fixar aquest si es detecta que fa moviments que puguin indicar la mala subjecció i efectuar les mateixes comprovacions anteriorment explicades per a comprovar la presa de terra dels elements.



4. Establiment d'un vaixell tipus i de la seva sala de màquines

4.1. Selecció del tipus de vaixell

La selecció del vaixell ve condicionada per dos factors: el primer és el fet que els sensors requerits pel tipus de vaixell quedin recollits i definits en l'apartat sobre les normatives de les societats de classificació, ja que per exemple els vaixells considerats com a transports especials (petroliers, químiquers i gasers) tenen requisits addicionals per al tractament de la seva càrrega degut a la seva perillositat, i el segon factor és l'interès de l'autor del treball per a aquells tipus de vaixell preferits per al futur desenvolupament laboral com a en primer lloc com a alumne i posteriorment com a oficial de sala de màquines de la marina mercant, d'aquesta manera l'apartat que tracta sobre la normativa de la sensorització en la sala de màquines ja ha estat redactada amb l'objectiu d'acotar l'estudi.

El tipus de vaixell escollit per a fer un muntatge teòric de la xarxa NMEA 2000 és un vaixell portacontenidors, i l'objectiu d'aquest apartat consisteix en obtenir informació del sector naval real amb la selecció del vaixell i les especificacions tan sobre les dimensions d'aquest com les especificacions de la maquinària. El vaixell portacontenidors escollit es tracta d'un model dissenyat per Wärtsilä, el model WSD80 1500.



Figura 56: Imatge del WSD80 1500. Font: Wärtsilä.

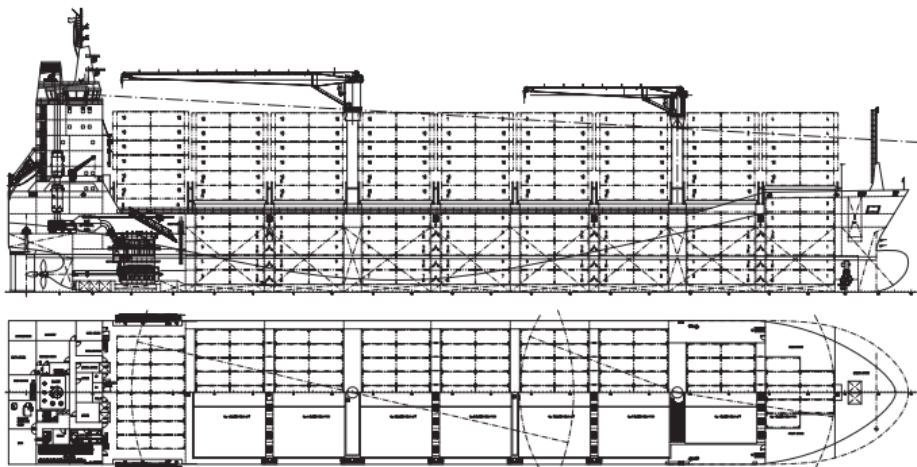


Figura 57: Perfil i alçat del WSD80 1500. Font: Wärtsilä.

Es divideixen les característiques del WSD80 entre aquelles enfocades al benestar de la tripulació, configuracions opcionals per reduir la contaminació generada i els detalls tècnics que s'agrupen en una taula a continuació.

Per al benestar de la tripulació el vaixell disposa de segregació dels camarots de la tripulació respecte als espai de la sala de màquines i climatització en tots ells. Per a reduir l'impacte medioambiental el vaixell disposa d'una planta de tractament de l'aigua de llast tal i com es disposa al MARPOL i pot incorporar mètodes per reduir els Nox amb la reducció catalítica selectiva (SCR) i els Sox amb scrubbers.

Algunes de les dades més rellevants del WSD80 1500 són:

Eslora total	162.90 m
Eslora entre perpendiculars	153.85 m
Màniga forta o total	26.00 m
Calat de disseny i calat màxim	8.50 i 9.50 m
Pes mort a màxima càrrega	22.500 tones
Tripulació	24 persones
Arqueig brut	16.800 GT
Arqueig net	6100 NT
Capacitat de combustible (HFO)	1.550 m ³
Capacitat de combustible (MDO)	340 m ³
Capacitat d'aigua dolça	350 m ³

Màxima càrrega	1.508 TEU
Connexió per a contenidors refrigerats	176 a la coberta/ 200 a la bodega
Velocitat màxima	18 nusos
Consum de combustible a màxima càrrega	48.50 tones/dia
Motor principal	Motor Wärtsilä de dos temps 6RT-flex50 D de 10.470 Kw
Planta propulsora	Propulsor de pas fixe de 5.900 mm Ø
Motors auxiliars	2 motors Wärtsilä AuxPac 8L20 de 1405 kWe 2 motor Wärtsilä AuxPac 6L20 de 1055 kWe
Motor d'emergència	Motor d'emergència de 150 kWe
Planta elèctrica	Generadors: 450 Volts AC a 60 Hz Automatismes: 230 Volts a 60 Hz/24 Volts DC Il·luminació: 230 Volts AC a 60 Hz

Taula 13: Especificacions del WSD80 1500. Font: Pròpia.

Wärtsilä de manera predeterminada estableix que la societat de classificació per defecte per a aquesta embarcació sigui Lloyd's Register tot i que també accepta equivalents. No es tindrà en compte cap societat de classificació en concret degut a la finalitat del treball, ja que el disseny de les diverses xarxes NMEA 2000 d'aquest parteixen de la premissa de que és l'autor de treball qui les crea i defineix.

4.2. Informació de la sala de màquines

De les característiques tècniques del WSD80 1500 es pot extreure en gran part molta informació respecte a quina maquinària integra la seva sala de màquines, els motors principals, els auxiliars i els d'emergència, juntament amb especificacions de la planta elèctrica i el tipus de sistema propulsor.

De tots els que es consideren necessaris per al muntatge teòric resten per definir la caldera auxiliar, la turbina auxiliar i el sistema antiincendis.

Per tal d'especificar i definir aquests elements de la sala de màquines s'ha consultat informació provinent de fabricants homologats per diverses societats de classificació, entre elles DNV GL, Bureau Veritas i Lloyd's Register. Per a la caldera auxiliar s'ha consultat el fabricant Parat i per a la turbina auxiliar Mistubishi.

A continuació es fa una breu enumeració i descripció dels elements de la sala de màquines proposada, amb informació detallada d'aquests degudament annexada.

La sala de màquines del WSD80 1500 proposat per a monitoritzar amb una xarxa NMEA 2000 és integrada per la següent maquinària:

- **Motor principal:** Motor Wärtsilä de dos temps 6RT-flex50 D de 10.470 Kw.

- **Generadors elèctrics:**

2 generadors de 1405 kWe.

2 generadors de 1055 kWe.

- **Motor d'emergència:** Motor d'emergència de 150 kWe.
- **Caldera Auxiliar:** Caldera acuotubular PARAT MVW de pressió nominal 7 bar.
- **Turbina auxiliar:** Turbina Mitsubishi model AT52C de 6000 Kw nominals.
- **Propulsor:** Propulsor de pas fixe de 5.900 mm Ø.
- **Planta elèctrica:**

Potència: 450 Volts AC a 60 Hz.

Automatismes: 230 Volts a 60 Hz/24 Volts DC.

Il·luminació: 230 Volts AC a 60 Hz.

- **Sistema antiincendis:** (Veure anotacions del sistema antiincendis al subapartat 5.1.).

5. Muntatge teòric proposat de la xarxa NMEA 2000

5.1. Selecció de sensors

Aquest apartat combina diferents sensors de diferents empreses certificades per NMEA per tal d'integrar una xarxa diversa aprofitant de cada fabricant les característiques més importants del seu catàleg, abans però cal tenir en compte les següents consideracions:

La principal dificultat que s'ha experimentat durant la cerca de sensors aplicables és el fet de que molts productes es troben orientats a la monitorització d'elements relacionats amb el pont de la nau, destacant entre els més importants, sistemes com l'AIS i antenes GPS i malauradament queden fora de la sala que es vol crear.

També cal destacar que durant la cerca de sensors s'ha observat que molts fabricants ofereixen uns productes relacionats amb l'estàndard NMEA 2000 dins del món d'embarcacions d'oci i d'eslora petita on predominen els sensors que es col·loquen a través del casc i que mesuren de temperatura de l'aigua de mar, velocitat de la nau i profunditat, on les xarxes són molt més senzilles i simplificades respecte a les que són d'interès pel treball, aquestes dificultats també s'han experimentat realitzant una cerca similar per a NMEA 0183.

La cerca d'informació útil per al treball s'ha fet buscant dades específiques i guies d'instal·lació de sensors i adaptadors provinents de Maretron, Garmin, Yachtd, Airmar i Actisense, a més per a realitzar aquest apartat s'ha contactat mitjançant correus electrònics i trucades telefòniques amb Maretron, Garmin i al conglomerat format per Navico, Simrad Yachting i Lowrance preguntant sobre els seus sensors la instal·lació d'aquests i dubtes sorgits durant la consulta de les dades, tots ells van respondre de forma ràpida i correcta els dubtes i a més aportant informació addicional juntament amb una proposta sobre l'estudi dels seus softwares per a xarxes NMEA 2000.

Gràcies a la seva assistència el treball compta amb més profunditat i contingut afegit a l'aportar dades i una perspectiva que no es tenia prèviament.

Tal com queda mencionat a l'apartat 2 cal analitzar fins a quin punt és possible utilitzar els sensors que pot disposar la xarxa que es vol crear i complir les normatives de les societats de classificació alhora, ja que l'objectiu és agafar de cada societat aquells requisits més exigents sense decantar-se per cap d'elles en concret. Sobre aquesta part cal fer les següents anotacions:

- Per a alarmes d'alt i molt alt nivell o alt nivell de primera i segona etapa hi ha un únic sensor que s'encarrega simultàniament d'aquestes dues funcions al poder programar múltiples alarmes i magnituds a monitoritzar pel mateix sensor.
- Els sensors i els cables utilitzats per a connectar aquests a la xarxa no tenen cap LEN associat degut al fet de que tenen una intensitat de pocs mA (entre 4 i 20 mA) i es considera menyspreable.
- Sobre els sensors de seguretat i control es fa una observació a la part final de l'aparat.
- Es fa distinció entre aquells sensors exclusivament centrats en ser col·locats a través del casc de la nau i aquells destinats a ser col·locats a altres estructures com tancs.
- La viscositat es pot també monitoritzar de manera equivalent amb sensors de temperatura.
- No tot paràmetre a monitoritzar es pot fer amb sensors compatibles amb NMEA 2000, per defecte, si no hi ha sensor compatible s'assumirà que es disposa d'un aparell de mesura analògic al qual es pot acoblar un adaptador NMEA 2000.
- El WSD80 1500 disposa d'obertures i mides compatibles per a la instal·lació de sensors NMEA 2000.
- La maquinària d'aquest disposa de sensors ja incorporats.
- Per a la comparació respecte a valors definits es pot programar una alarma si es calcula la diferència que hi ha entre els dos estats i s'indica l'activació d'alarmes per al màxim d'aquests.
- Si es possible s'afegiran sensors que no queden recollits específicament a les normatives consultades per a dotar la xarxa de més profunditat.

Taula 14: Consideracions sobre la normativa consultada i els sensors que seran utilitzats per a la xarxa. Font: Pròpia.

La majoria de sensors que són utilitzats són provinents de Maretron, degut a que són els que disposen informació més clara i completa i permeten ser utilitzats ràpidament amb el seu software de simulació, Aquells que puguin permetre crear una variació d'una xarxa viable a la vegada que poc usual també hi són inclosos, tot i que es parteix de la premissa d'incloure només aquells dels quals es disposi informació suficient.

A continuació es detallen la combinació de sensors juntament amb un adaptador a NMEA 2000 per a les diverses magnituds a monitoritzar:

- Per a les temperatures s'utilitza l'adaptador TMP100, juntament amb sensors de temperatura ambientals, submergits i de gasos d'escapament, amb temperatures de funcionament dels -20°C fins als 80 °C per als dos primers i de 0 a 900 °C per als gasos d'escapament.



Figura 58: Respectivament, sensors de temperatura ambiental, submergible i de gasos d'escapament. Font: Maretron.

Amb aquestes configuracions es poden monitoritzar les temperatures: per a motors: l'arbre de lleves i coixinets de motors i els interiors de cada cilindre, la temperatura de l'aigua de refrigeració als cilindres, al llarg del circuit i de l'aigua de mar, temperatura de l'aire de renovació al turbocompressor, la dels gasos d'escapament i la de la zona d'escapament d'aquests, la temperatura de l'oli lubricant i la temperatura si s'utilitza heavy fuel oil.

- Per a calderes i turbines: temperatura de vapor de la caldera, inclosos sobreescalfador, intercanviador de calor i desescalfadors de vapor, per a l'aigua d'alimentació de la caldera, per al heavy fuel oil i per a l'oli lubricant de la turbina.

- Planta propulsora: temperatura de l'oli lubricant, coixinets, fluid hidràulic, botzina i aire de refrigeració del motor dels pods.

- Per al cabdals de combustible, fluids refrigerants i lubricants s'utilitza l'adaptador FFM100 juntament amb sensors de cabdal, que funcionen amb dos engranatges interns que van girant a mesura que el fluid en qüestió passa a través.



Figura 59: Adaptador FFM100 i sensor de cabdal. Font: Maretron.

Amb aquestes configuracions es pot monitoritzar el cabdal de: a motors: cabdal del combustible, refrigerant, del lubricant i de l'aigua de mar i fugues de combustible si el cabdal es redueix per sota d'un valor definit.

- Per a calderes i turbines: cabdal de l'aigua de la caldera monitorització de la circulació de l'aigua i del condensador.

- Planta propulsora: cabdal de l'aire de refrigeració i de l'aigua de refrigeració per als coixinets del sistema de transmissió.

- Per a nivells de tancs existeixen sensors ultrasònics però condicionats per a una màxima profunditat d'un metre i no existeix la manera d'amplificar aquesta distància, d'aquesta manera la solució trobada per a tancs o espais de distància superior al metre és l'ús d'un adaptador connectat a un aparell de mesura analògic.

Amb aquestes configuracions es pot monitoritzar el nivell de: motors: nivell d'oli al càrter, nivell de l'aigua del sistema de refrigeració, nivell de boira d'oli al càrter.

- Per a calderes i turbines: nivell de l'aigua de la caldera, oli lubricant a la turbina i condensador de la turbina.
- Per a la planta propulsora: oli lubricant i oli hidràulic.
- Per a les pressions hi ha l'element comú de l'adaptador FPM100 i en funció de la finalitat, un sensor estàndard, submergible o de buit. Els sensors per al buit tots poden arribar a mesurar fins a 1 bar, per als altres existeixen diferents graduacions, la màxima pressió que s'estima necessària dimensionant de més per seguretat és de 34.5 bar.



Figura 60: Respectivament, sensors de pressió o de buit estàndards i de pressió submergibles. Font: Maretron.

Amb aquestes configuracions es pot monitoritzar la pressió de: motors: pressió de l'oli lubricant al motor i al turbocompressor, diferència de pressions al filtre de l'oli lubricant, pressió de l'aire d'escombrat i de l'aire d'arrencada, pressió de l'aigua de mar i aigua dolça dels sistemes de refrigeració, pressió del combustible a les bombes d'aquest.

- Per a calderes i turbines: pressió de l'aigua de la caldera, pressió del vapor a la caldera, pressió d'atomització i pressió del combustible a la caldera. A la turbina pressió de l'oli lubricant i buit al condensador d'aquesta.

- Planta propulsora: pressió de l'oli lubricant, diferència de pressions al filtre de l'oli lubricant i pressió de l'oli hidràulic.

- A nivell elèctric, tal i com s'ha indicat anteriorment el propi adaptador actua com a sensor i adaptador, aquests es divideixen en tres grups, monitorització de corrent alterna, continua, relès i el sistema de control de corrent, de la planta elèctrica es recorda que la monitorització d'aquesta no queda del tot definida per normatives, pel que a continuació s'inclou una expansió a nivell de conceptes a monitoritzar.

Per a corrent alterna es pot monitoritzar el voltatge, intensitat, freqüència, potència real, reactiva i aparent i el factor de potència.

Per a corrent continua es pot monitoritzar: voltatge i intensitat de qualsevol tipus de font d'alimentació i per a bateries la temperatura d'aquestes, el voltatge de càrrega i el temps restant d'ús de la bateria.

El sistema de relès actua connectant i desconnectant càrregues connectades a la xarxa actuant com a sistema de seguretat per a la xarxa i el control de corrent continua i alterna permet informar sobre l'estat de diferents tipus de càrregues d'abord referents al treball existeixen dos paràmetres d'especial interès: il·luminació i l'escapament dels gasos de combustió del motor, les càrregues es connecten en paral·lel respecte l'adaptador.

A nivell de detecció d'incendis el sistema de control de corrent pot ser utilitzat per a monitoritzar la presència de foc, fum, gas i monòxid de carboni.

A continuació s'enumeren els paràmetres que no es poden monitoritzar directament amb sensors dissenyats per a una xarxa NMEA 2000, però sí que compten amb PGNs i el reconeixement del paràmetre a monitoritzar a les interfícies per a aquells sensors ja incorporats a la maquinària.

Aquests són: pressió d'embragatge de la planta propulsora, pressió i temperatura a coixinets, creuetes, arbres de lleves, sensors de temperatura i pressió dins de cilindres, temperatures a les carcasses de maquinària i totes aquelles aplicacions entorn a la monitorització de càrregues elèctriques i generadors elèctrics.

En canvi els següents paràmetres no poden ser monitoritzats al no tenir PGNs associats: el PH i la salinitat de l'aigua, pressió d'injecció del combustible per common rail i la presència de boira d'oli lubricant al càrter.

(Com a solució per a la presència de boira s'ajunta un sensor de nivell per a que quan baixi el nivell a l'evaporar-se i aparèixer la boira es doni l'alarma, per al common rail es proposa una connexió equivalent per al funcionament d'aquest a una unitat de monitorització elèctrica tot i no monitoritzar exactament el mateix).

La temperatura dels gasos d'escapament es pot monitoritzar a la sortida del motor, al final de la zona per on es produeix l'escapament no es pot monitoritzar degut a la gran quantitat de longitud de cable requerida, pel que si es vol fer al final de les xemeneies s'ha de disposar una monitorització diferent però no amb NMEA 2000.

A l'inici de l'apartat s'han descrit les principals dificultats durant la tria i cerca de sensors, i el recull dels anteriors actua com a resum que deixa constància dels límits que existeixen a nivell de sensors directament enfocats per a ser usats en xarxes NMEA 2000, això no significa que siguin els únics paràmetres o sensors que es poden monitoritzar o utilitzar, doncs molts fabricants ja incorporen en la seva maquinària sensors propis juntament amb aparells de mesura analògics als que amb els adaptadors que transformen la senyal d'aquests directament a NMEA 2000 es poden incorporar a la xarxa.

Aquests sensors tenen el mateix tractament i procediment que els anteriors, un cop connectats a la xarxa són detectats, i després se'ls hi assigna una numeració i prioritat. A nivell d'editar les circumstàncies d'alarma és recomanable seguir les especificacions provinents per part del fabricant, entre ells les més notables són les que tenen funcions de seguretat com slowdowns, shutdowns o la posada del sistema en standby. En aquest sentit es pot dir que aquests sensors no són dissenyats per actuar exclusivament en una xarxa NMEA 2000 ja que venen predeterminats per actuar indistintivament al tipus d'estàndard i tipus de monitorització del vaixell.

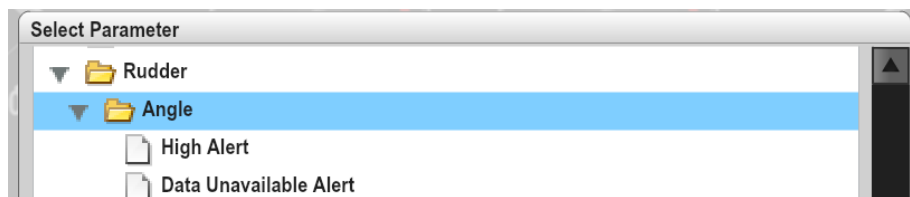


Figura 61: Opció de monitorització per a paràmetres amb sensors no específics per a NMEA 2000. Font: Pròpia.

Per a monitoritzar determinats paràmetres relacionats amb l'aigua de mar com el PH o la salinitat d'aquesta es presenten dues opcions, disposar prèviament de sensors instal·lats al circuit o utilitzar un sensor compatible. En aquest cas el sensor seleccionat té la particularitat que es pot utilitzar en dos contextos diferents, ja que és un sensor through hull, tot i que es pot col·locar també a través de tubs o compartiments on resulti d'interès la seva col·locació.

A més aquests sensors es troben recoberts de materials que retarden i redueixen els efectes de la corrosivitat de l'ambient marí. L'únic inconvenient és el fet d'haver de perforar parts de la maquinària i podria entrar en conflicte amb les especificacions o garantia del fabricant d'aquesta. Aquests sensors es troben a l'espera de que NMEA incorpori PGNs addicionals per a aquestes variables.



Figura 62: Sensor Through Hull Seacosense. Font: Digital Yacht.

Seguint l'explicació anterior el següent tema a tractar són els sensors que tenen funcions d'alarma per avaria i els de seguretat com els de stand-by, slowdown i shutdown, ja que aquests sensors i aquestes funcionalitats ja es troben incorporades de sèrie, sabent per a quines condicions s'activen aquestes mesures de seguretat cal preparar una alerta diferent de les de monitorització que indiqui que s'ha iniciat una mesura de seguretat i quins motius la han causat.

Per a les alarmes d'avaries es pot configurar una alarma que es posi en funcionament quan no s'obtinguin dades dels sensors.

Existeix una manera d'otorgar la funció de shutdown a la xarxa NMEA 2000 si es disposa la següent configuració: utilitzant un DCR100 o similar.

Es tracta d'un conjunt de relès que connectats a l'interruptor de shutdown de la maquinària en qüestió, actuen com a commutadors activant el shutdown si s'assoleix un valor predefinit prèviament mitjançant la interfície.

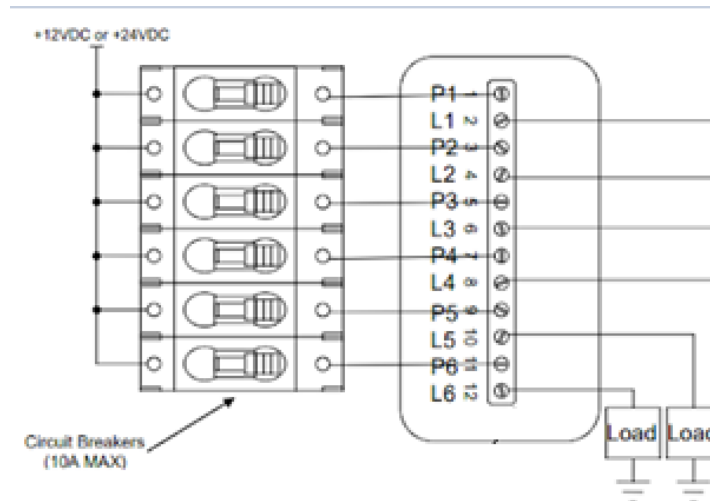


Figura 63: Esquema de funcionament del DCR100. Font: Maretron.

Els principals problemes de connectivitat que poden experimentar els sensors es troben principalment enfocats en dues vessants, la primera és el seu posicionament i instal·lació, ja que per a determinades connexions el sensor ha de ser compatible amb el tipus d'orifici o espai destinat per al sensor, no només per tema de mides sinó per el tipus de normativa que segueixi la rosca o orifici; la segona vessant es troba en la configuració i acceptació d'aquests sensors per part de les interfícies de control de la xarxa, ja que per exemple, determinats paràmetres no tenen cap PGN que reconegui quina magnitud es mesura i que permeti configurar quins valors poden activar alarmes.

Per als sensors que ja es troben integrats en la pròpia maquinària cal distingir quin tipus d'adaptador és necessari, ja que les connexions poden ser de més de dos cables i en un adaptador múltiple no és possible connectar el sensor ja que només disposa de dos terminals per sensor.

5.2. Muntatge i càlculs del disseny teòric de la xarxa

Per a la gran majoria de casos a l'utilitzar el propi programa Maretron N2Kbuilder aquest ja ens indica si la xarxa creada és funcional o conté errors juntament amb una breu anotació d'aquest a excepció de l'introducció d'elements que no formen part d'aquest. En el cas d'aquest treball a part del muntatge i verificació de cada part i element de la xarxa, també es fa com a justificació de la correcta instal·lació i funcionament de la xarxa un seguit de càlculs establerts per NMEA per a validar la funcionalitat d'aquesta.

Per a saber d'on prové la fórmula utilitzada en el primer lloc cal mencionar la llei d'Ohm:

$$E = I \times R$$

Taula 15: Llei d'Ohm. Font: Pròpia.

Seguidament les intensitats tan de la xarxa com d'un dispositiu en concret en funció de les necessitats es calculen de la següent manera:

$$I = LEN \times 0.050 A$$

Taula 16: Càlcul d'intensitats. Font: Pròpia.

La resistència depèn del tipus de cable utilitzat, ja que en funció del calibre i la longitud del cable que forma la backbone tenen una caiguda de tensió variable:

$$R = 2 \times L \times CTL/100$$

On la CTL varia en funció del tipus de cablejat:

- CTL cable micro: 0.057 mΩ/m
- CTL cable mid i mini: 0.016 mΩ/m

Taula 17: Resistència del cablejat. Font: Pròpia.

Substituint i simplificant les anteriors expressions en la llei d'Ohm obtenim finalment les següents expressions:

$$E = 0.1 \times LEN \times L \times 0.057 \text{ (Cable micro)}$$
$$E = 0.1 \times LEN \times L \times 0.016 \text{ (Cables mid i mini)}$$

Taula 18: Càlcul de la caiguda de tensió en xarxes NMEA 2000. Font: Pròpia.

La caiguda de tensió acceptada com a correcta per a la xarxa varia en funció del tipus d'alimentació d'aquesta. Si es fa amb bateries, generalment el voltatge nominal d'aquestes és de 12 V i es permet una caiguda de 1.5 V a cada branca. Per a una font d'alimentació provinent del propi circuit elèctric de corrent continua del vaixell generalment s'acostuma a considerar un voltatge de 13.8 V permetent una caiguda de tensió de 3 V a cada branca.

Durant la creació de la xarxa es va pretendre ajuntar el màxim de màquines a monitoritzar en una sola xarxa per evitar les conseqüències mencionades a continuació, però es van experimentar principalment les tres següents dificultats: La connexió de tants dispositius implica una gran caiguda de tensió a cada branca de la backbone, pel que una sola font d'alimentació T no és suficient i es precisa connectar fonts addicionals entremig del backbone en aquells parts on no es compleixin els requisits de caiguda de tensió.

La següent dificultat va ser el nombre de dispositius connectats, ja que es va excedir el màxim de 50 dispositius simultanis, pel que es podria optar per connectar un element creat per a duplicar aquest nombre. Tot i això el principal problema és la longitud de les droplines aquesta al ser excedida no hi ha solució existent a part de dividir la xarxa o alterar les vides dels cables, degut a això s'han hagut de crear diferents xarxes. Els anteriors motius també han condicionat el fet de no poder atribuir la categoria de sala de màquines sense dotació permanent.

Les principals conseqüències d'aquesta nova implementació són: La presència de múltiples xarxes NMEA 2000 al llarg de la sala de màquines, juntament amb la necessitat de múltiples interfícies, a més s'ha escollit utilitzar adaptadors Ethernet per a aconseguir una sala de màquines sense dotació permanent juntament amb la monitorització des del pont.

Alguns adaptadors es troben doblats i poden incloure sensors addicionals i les mides d'alguns cables es troben sobredimensionades per a poder ser adaptades a la disposició de la sala de màquines, però al ser una simulació es podria donar el cas de que es requereixin longituds addicionals per a determinats casos. En aquestes situacions es podria donar el cas de que s'hagués de tornar a configurar una nova xarxa per a adaptar-se als nous requisits.

Els LEN de cada tipus d'adaptador connectat a la xarxa es troba annexat al final del treball, el LEN que apareix als càlculs és total d'aquella branca.

-Motor principal i planta propulsora:

La xarxa es divideix en dos segments separats a analitzar degut a la longitud d'aquesta a l'hora de ser plasmada al treball, aquests segments són respectivament la part dreta i esquerra del backbone, on la dreta correspon a la planta propulsora i l'esquerra al motor principal.

Per al segment del motor principal:

El motor principal és la xarxa més complexa i completa de les realitzades, i tot i això només forma part d'una de les branques del backbone. En ella s'hi troben tots els requisits de monitorització de pressió, temperatura i nivell per al combustible, per al circuit refrigerant, per al circuit lubricant, per al turbocompressor i la monitorització específica per a motors lents juntament amb les connexions per a la velocitat d'aquest i les del shutdown del motor, amb l'afegit o substitutiu de la mesura de la temperatura dels gasos d'escapament (que es troba en la xarxa de sistemes antiincendis).

Per últim aprofitant un adaptador NMEA 2000-Ethernet s'estableixen connexions pertinents fins a un ordinador de monitorització al pont.

Adicionalment, hi ha una T sense connectar per a poder connectar un aparell de mesura N2KBuilder per si escau.

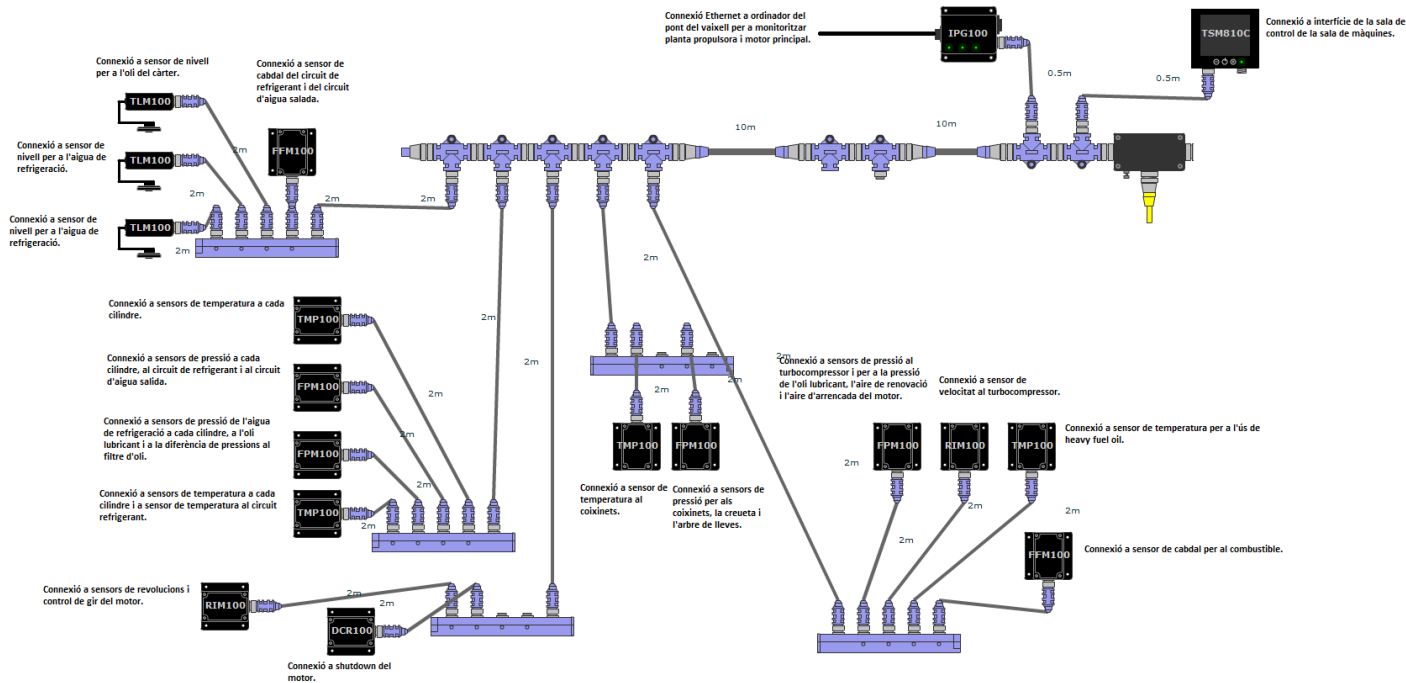


Figura 64: Configuració del segon segment de la xarxa NMEA 2000 per al segment del motor principal. Font: Pròpia.

$$Edreta = 0.1 \times 20 \times 30 \times 0.016 = 0.96 V$$

$$Eesquerra = 0.1 \times 63 \times 20 \times 0.016 = 2.01 V$$

La configuració d'aquesta xarxa és correcta.

Taula 19: Càlcul de la caiguda de tensió per al motor principal i per a la planta propulsora. Font: Pròpia.

-Motors auxiliars i planta elèctrica:

Aquesta xarxa és pràcticament simètrica a les dues branques a excepció de la col·locació d'una alarma, una interfície i un adaptador, aquest últim per a la monitorització elèctrica des de la sala de màquines i des del pont, on en cada branca s'hi situa un motor auxiliar i dos dispositius multiport.

Al ser pràcticament idèntics es dona una sola explicació per als dos segments, per als motors auxiliars es disposen dels requisits esmentats per les societats de classificació sense cap dificultat experimentada, ja que tots aquests són compartits per el motor principal.

Per a la planta elèctrica els adaptadors tenen la funció de monitoritzar elèctricament paràmetres de la maquinària com les càrregues a connectar, en aquest sentit al no comptar amb una normativa específica es disposa d'un sobredimensionament d'aquests adaptadors per a dotar d'una certa flexibilitat per a la monitorització, doncs si bé hi ha dos dispositius multiports encarregats de monitoritzar els paràmetres dels generadors i la maquinària principal, dos dispositius addicionals es poden connectar a càrregues que es considerin d'interès. Tot i que aquests adaptadors es troben dimensionats i tenen capacitat per a monitoritzar la il·luminació fora de la sala de màquines i el funcionament d'altres càrregues situades fora d'aquesta com podria ser l'aire acondicionat als camarots o altres.

Per últim aprofitant un adaptador NMEA 2000-Ethernet s'estableixen connexions pertinents fins a un ordinador de monitorització al pont.

Addicionalment, hi ha una T sense connectar per a poder connectar un aparell de mesura N2KBuilder per si escau.

Per als motors auxiliars es segueixen tots els requisits de les normatives a excepció d'aquelles que no tenen PGNs associats, com la pressió d'injecció per common rail.

Per a la planta elèctrica al no existir uns requisits concrets a les normatives consultades, la disposició feta és la següent, amb la possibilitat d'haver d'afegir o treure de la xarxa dissenyada elements en funció del criteri de les societats.

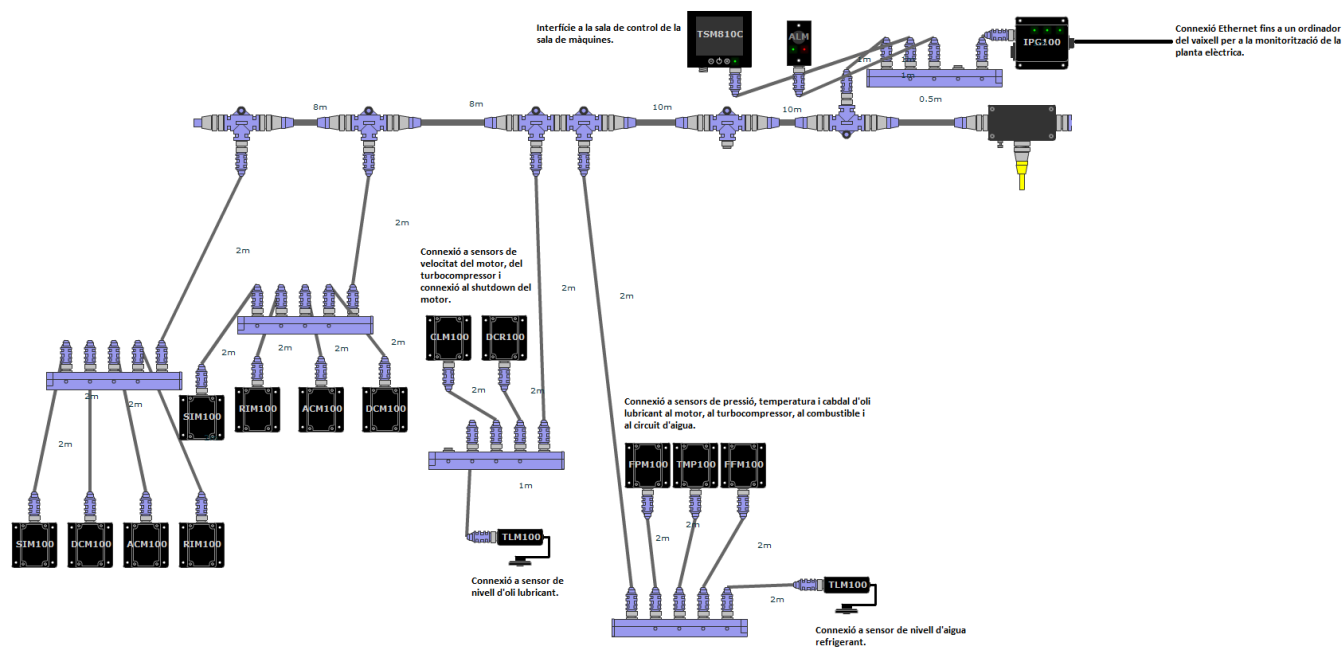


Figura 66: Configuració del primer segment de la xarxa NMEA 2000 per a la monitorització dels motors auxiliars. Font: Pròpia.

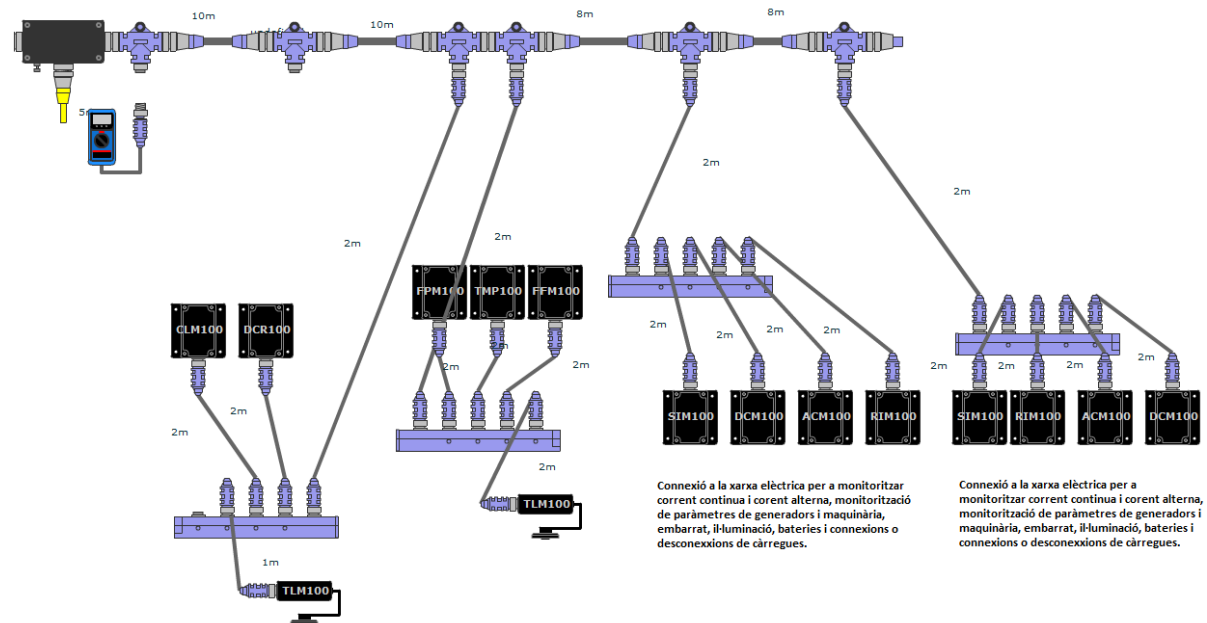


Figura 67: Configuració del segon segment de la xarxa NMEA 2000 per a la monitorització la planta elèctrica. Font: Pròpia.

$$Edreta = 0.1 \times 44 \times 36 \times 0.016 = 2.53 \text{ V}$$

$$Eesquerra = 0.1 \times 50 \times 36.5 \times 0.016 = 2.92 \text{ V}$$

La configuració d'aquesta xarxa és correcta.

Taula 20: Càlcul de la caiguda de tensió per als motors auxiliars i per a la planta elèctrica. Font: Pròpia.

-Turbina i caldera auxiliar:

Per a la turbina auxiliar es disposen els sensors recollits en les normatives a excepció dels de slowdown i avaria. Aquests per a ser connectats a la xarxa s'haurien de trobar connectats a l'adaptador que monitoritza també les revolucions i vibracions de la turbina, a més, es deixa una T lliure per a poder connectar el N2KMeter i es disposen d'alarmes individuals per a la caldera i la turbina.

Tan per a calderes i turbines, ja siguin principals o auxiliars, no sembla existir cap exemple de configuració a Maretron i altres, per al cas dels principals és comprensible al no ser tipus de propulsió gaire extesa dins de la marina mercant actual, però per als secundaris si que es vol fer notar aquesta absència d'informació respecte a com el NMEA 2000 pot fer-se servir per a monitoritzar aquests elements.

Inicialment al crear la xarxa es va considerar que potser no era possible i per això no existia cap precedent, però el muntatge i els càlculs aportats es poden considerar com una justificació, teòrica, de que sí és possible per a calderes i turbines auxiliars.

La configuració presentada disposa de tots els requisits comuns de les societats de classificació consultada respecte a la monitorització de pressions, temperatures, velocitats i nivells a excepció d'aquells ja definits anteriorment al no disposar de PGNs com la pressió d'atomització, el PH i la salinitat de l'aigua.

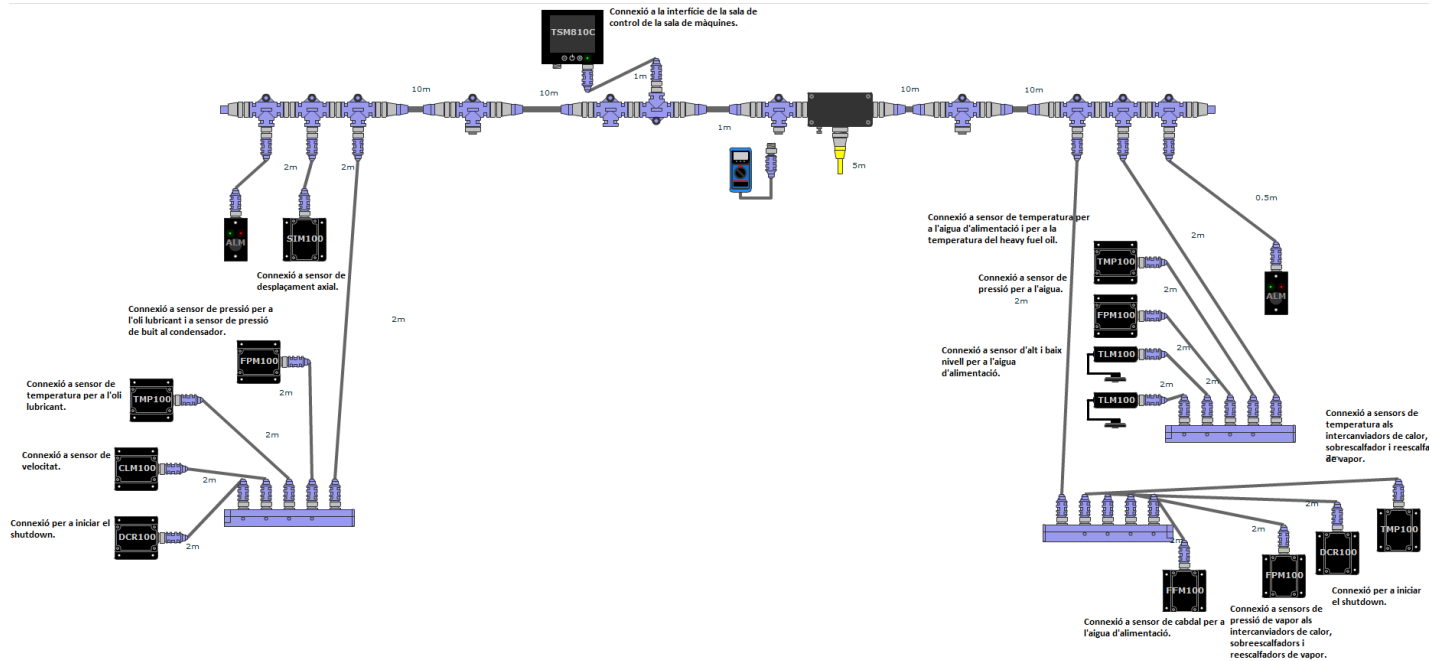


Figura 68: Configuració d'una xarxa NMEA 2000 per a la monitorització de la turbina i la caldera auxiliar. Font: Pròpia.

$$Edreta = 0.1 \times 24 \times 24 \times 0.016 = 0.77 V$$

$$Eesquerra = 0.1 \times 37 \times 21 \times 0.016 = 1.24 V$$

La configuració d'aquesta xarxa és correcta.

Taula 21: Càlcul de la caiguda de tensió per a la turbina i la caldera auxiliar. Font: Pròpia.

$$Edreta = 0.1 \times 33 \times 3 \times 0.057 = 0.56 V$$
$$Eesquerra = 0.1 \times 32 \times 7 \times 0.057 = 1.28 V$$

La configuració d'aquesta xarxa és correcta.

Taula 22: Càlcul de la caiguda de tensió per als motors d'emergència. Font: Pròpia.

-Sistema antiincendis:

Per al sistema antiincendis es crea una extensió de la xarxa específica que barreja i incorpora monitorització general que no va associada a cap màquina en concret de la sala de màquines i aquella destinada a maquinària. La monitorització general consta de quatre adaptadors de múltiples connexions per a que es situïn repartits al llarg de la sala de màquines i a cadascú d'ells es connecti un sensor per a la detecció de foc, juntament amb un de detecció de fum i l'afegit que no queda indicat per normativa de detecció de CO, quan aquest s'utilitzi per la extinció d'incendis.

Intercalats entre la backbone es troba la monitorització que es realitza de foc i fum a les carcasses de la turbina i la caldera i de foc per a l'escapament dels gasos de la combustió del motor, aquest es fa a una distància limitada.

Les alarmes associades a la detecció de foc i fum són programables per a ser audiblement diferent a la resta amb un patró i potència sonora diferent.

Per últim totes aquestes alarmes es reben simultàniament a una interfície de la sala de màquines i al pont mitjançant un adaptador NMEA 2000-Ethernet des d'on es construeix l'extensió fins a les dues zones, per a que la sala de màquines sigui sense dotació permanent es proposa es establir una connexió fins a un ordinador al pont.

Respecte a les normatives consultades al no existir uns requisits concrets la disposició feta és aquesta, amb la possibilitat d'haver d'afegir o treure de la xarxa dissenyada elements en funció del criteri de les societats, a més els sensors a les carcasses es troben situats en les immediacions de la maquinària degut a la problemàtica argumentada anteriorment de requerir unes longituds de cable que no són possibles d'implementar.

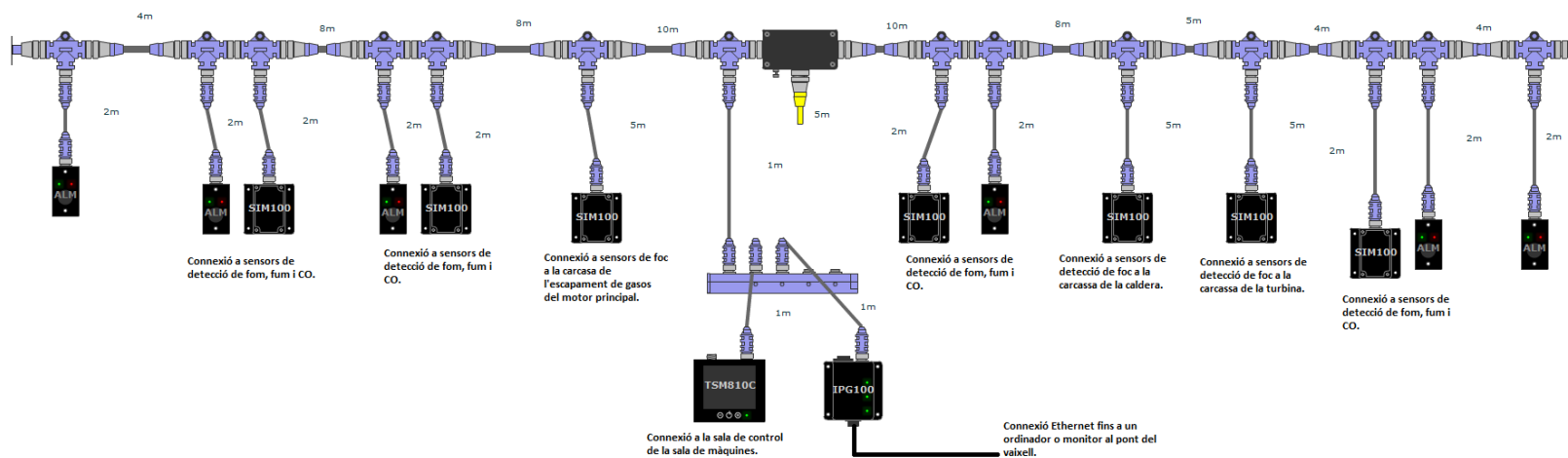


Figura 70: Configuració d'una xarxa NMEA 2000 per a la monitorització del sistema antiincendis d'abord. Font: Pròpia.

$$Edreta = 0.1 \times 14 \times 31 \times 0.016 = 0.69 \text{ V}$$

$$Eesquerra = 0.1 \times 16 \times 30 \times 0.016 = 0.77 \text{ V}$$

La configuració d'aquesta xarxa és correcta.

Taula 23: Càlcul de la caiguda de tensió per al sistema antiincendis. Font: Pròpia.

Per a finalitzar l'apartat es deixa constància de quatre anotacions:

La primera és que les simulacions fetes es basen per a mostrar com quedaria monitoritzat cada element definit al llarg del treball, tot i així, hi ha elements que tot que disposen de duplicats a bord, com les calderes auxiliars, la solució que s'aporta per a aquests és crear xarxes específics per a elements doblats que només entrin en funcionament quan sigui necessària la incorporació d'un d'aquests elements.

La segona és el fet de que no és possible convertir la sala de màquines en una sense dotació permanent per part de l'estàndard, ja que es requeririen múltiples alarmes a cada camarot per cadascuna de les anteriors xarxes configurades, el que implicaria alhora una quantitat de cablejat necessari per cada xarxa i en general excessiu que impacta simultàniament amb la impossibilitat d'implementar-ho degut a longituds de cable no compatibles amb l'estàndard.

Les xarxes es monitoritzen des de múltiples interfícies des de la sala de control de la sala de màquines i des d'un o múltiples ordinadors al pont, el que implica que totes les xarxes creades són segments de la monitorització total de la sala de màquines on tots ells transmeten dades, però l'alimentació entre tots ells es troba tallada degut a que no es pot proporcionar l'alimentació requerida a una xarxa tan extensa i d'aquí la segmentació.

La darrera anotació és que l'aspecte de les imatges de les xarxes creades no és rellevant al tractar-se d'una simulació ja que totes elles són plenament funcional, això és degut a les limitacions d'espai al utilitzar Maretron per a tants dispositius simultanis.

6. Conclusions

Respecte a la hipòtesis formulada a l'inici del treball no és completament possible monitoritzar la sala de màquines del portacontenidors proposat utilitzant una o diverses xarxes NMEA 2000 si s'analitzen els requisits de les societats de classificació. No per això aquesta sala de màquines perd rellevància ni deixa de ser completament operativa si s'analitza des de la seva funcionalitat, doncs per exemple el simulador de màquines de la pròpia facultat monitoritza un rang similar de paràmetres.

Aquesta impossibilitat pot ser major o menor en funció de la societat de classificació consultada, de la disposició física que es faci de la xarxa, les limitacions de l'estàndard i de la disposició dels PGNs adequats, ja que tot i que les simulacions realitzades permeten gestionar en gran part la sala de màquines hi ha l'excepció de paràmetres concrets i específics.

El control i monitorització restants que s'han obtingut és prou extens com per a justificar el seu ús en la sala de màquines proposada, tot i que amb el fi d'ajustar-se als requisits de les societats s'ha de trobar una relació de simbiosi entre la monitorització que es pot fer amb l'estàndard i algun mètode alternatiu o optar directament per un altre tipus de monitorització. Un dels beneficis de Profinet és la possibilitat d'operar amb múltiples protocols simultanis, operant de forma similar a l'estàndard NMEA OneNet.

També tot i que si bé a nivell d'embarcacions mercants aquest estàndard no és suficient per si sol en determinats aspectes i en funció del cas, aquest estàndard està capacitat per a poder monitoritzar amb profunditat embarcacions d'oci amb gran part dels anteriors requisits utilitzant només aquest.

Per a respondre fins a quin punt té rellevància aquest estàndard cal observar l'edat d'aquest estàndard i l'evolució d'aquest al llarg del temps i el context en el que és utilitzat. Aquest estàndard va ser introduït fa dècades i en conseqüència les seves característiques respecte a altres més moderns han anat perdent rellevància juntament amb factors llandants com les limitacions a nivell de connexions físiques, tot i que s'han introduït millores i aquest es pot utilitzar sense considerar-se desfasat, les millores respecte als anteriors punts són un dels principals reclams del estàndard NMEA OneNet.

Analitzant el tipus de sensors i eines de monitorització disponibles s'aprecia que gran part d'aquests són enfocats a embarcacions d'oci on les xarxes a crear no són tan extenses ni amb tants paràmetres a monitoritzar per el que molts dels sensors dins de l'àmbit d'estudi venen proporcionats amb la pròpia maquinària a monitoritzar, però no per els anteriors motius deixa de ser una opció a considerar per a una sala de màquines.

Es fa notar que la simulació que s'ha fet al estar basada de manera conceptual no podria ser literalment aplicable en una sala de màquines i que per tant podria existir la necessitat de modificar aquestes per a poder aplicades en un cas real.

Per últim es deixa com a reflexió l'expansió o continuïtat de l'estudi d'aquest estàndard en dues direccions, la primera un cop hi hagin més detalls sobre l'estàndard NMEA OneNet i es pugui avaluar l'impacte a causar en el sector amb les seves prestacions i la segona en com l'estàndard NMEA 2000 és incorporat en un vaixell per a la monitorització de tancs o d'aparells al pont d'un vaixell tots ells de manera simultània, ja que es poden obtenir noves perspectives amb conclusions diferents a les obtingudes en aquest treball.

Bibliografia

- [1] DNV GL. (Octubre 2020). *Rules for Classification: Naval vessels (RU-NAV)*.
- [2] Bureau Veritas. (Octubre 2020). *Rules for the Classification of Naval Ships. Part C: Machinery, Systems and Fire Protection*.
- [3] RINA. (2020). *Rules for the Classification of Ships, Part C: Machinery, Systems and Fire Protection*.
- [4] Lloyd's Register. (Juny 2020). *Rules and Regulations for the Classification of Ships*.
- [5] Payri, F. Desantes, J.M. (2015), editorial Reverté. *Motores de combustión interna alternativos*.
- [6] Thornton, Tim. (2007), editorial Adlard Coles Nautical. *Computers on board*.
- [7] Abad Domingo, Alfredo. (2005), editorial McGrawHill. *Redes de área local*.
- [8] Digital Yacht. (2017) *Product Guide 2017*.
- [9] Martínez Requena, Adrián. (2017) *Introducción a CAN bus: Descripción, ejemplos y aplicaciones de tiempo real*. Proyecto fin de máster, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sistemas Informáticos, Universidad Politécnica de Madrid.
- [10] Emmi Network. *Albacomi NMEA 2000 Analog Converter*.
- [11] Apunts de: 280684. *Sistemas de control automàtic i xarxes informàtiques del vaixell*.
- [12] Apunts de: 280655 *Motors de combustió interna*.
- [13] Apunts de: 280654 *Turbomàquines marines i generadors de vapor*.
- [14] Apunts de: 280652 *Propulsors*.
- [15] Apunts de: 280658 *Instal·lacions i manteniment*.
- [16] NMEA. (Octubre 2004). *NMEA 2000. Standard for serial-data networking of marine electronic devices*.
- [17] NMEA. (Maig 2009). *NMEA 2000. Past, present and future*.
- [18] Spitzer, Steve. NMEA. (Juny 2013). *OneNet summary for NMEA Board of Directors*
- [19] Reedenauer, Mark. NMEA. (Novembre 2020). *NMEA RELEASES VERSION OF 1.000 OF ONENET ETHERNET STANDARD*.
- [20] Pietak, Andrzej. Mikulski, Maciej. Polish Maritime Research (2009). *On the adaptation of CAN BUS network for use in the ship electronic systems*.

Webgrafia

- [1] Raymarine, data de consulta: 5 de setembre de 2020. Disponible a: <<https://www.raymarine.com>>.
- [2] Calibre de cable d'Estats Units, Wikipedia, data de consulta: 7 de setembre de 2020. Disponible a: <https://es.wikipedia.org/wiki/Calibre_de_alambre_estadounidense>.
- [3] Guia d'instal·lació d'una xarxa NMEA 2000, Simrad Yachtig, data de consulta: 14 de setembre de 2020. Disponible a: <<https://www.simrad-yachting.com/help--support/?guideTitle=How-to-Design-and-Build-an-NMEA-2000-Network&guideld=003-779>>.
- [4] Guia d'instal·lació d'una xarxa NMEA 2000. Actisense, data de consulta 15 de setembre de 2020. Disponible a: <<https://www.actisense.com/wp-content/uploads/2020/01/Complete-Guide-to-Building-an-NMEA-2000-Network-issue-1.1.pdf>>.
- [5] Guia d'instal·lació d'una xarxa NMEA 2000. Maretron, data de consulta 15 de setembre de 2020. Disponible a: <<https://www.maretron.com/products/pdf/Network%20Installation%20Guide.pdf>>.
- [6] Manteniment de NMEA 2000. Kvaser, data de consulta: 16 de setembre de 2020. Disponible a: <<https://www.kvaser.com/tools-troubleshooting-can-nea-2000/>>.
- [7] Manteniment de NMEA 2000. Garmin, data de consulta: 16 de setembre de 2020. Disponible a: <<https://support.garmin.com/en-US/?faq=656Kiulo733b27xQgmLBy7>>
- [8] Instal·lació de sensors through hull. Airmar, data de consulta: 17 de setembre de 2020. Disponible a: <<http://www.airmar.com/uploads/InstalblelGuide/17-129.pdf>>.
- [9] Blackbox, data de consulta: 19 de setembre de 2020. Disponible a: <<https://www.blackbox.co.uk/gb-gb/>>.
- [10] Imatges sobre les topologies. Comparitech, data de consulta: 19 de setembre de 2020. Disponible a: <<https://www.comparitech.com/>>.
- [11] Informació sobre el protocol CAN. Can-Cia. Data de consulta: 2 d'octubre de 2020. Disponible a: <<https://www.can-cia.org/can-knowledge/>>.
- [12] Informació sobre el protocol CAN. Data de consulta: 2 d'octubre de 2020. Disponible a: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00228a.pdf>>.
- [13] Informació sobre el protocol CAN. Data de consulta: 3 d'octubre de 2020. Disponible a: <<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-1123.pdf>>.
- [14] Informació sobre el protocol CAN. Data de consulta: 3 d'octubre de 2020. Disponible a: <<http://canbus.pl/index.php?id=4&lang=en>>.
- [15] Informació sobre el WSD80 1500. Wärstilä. Data de consulta: 11 d'octubre de 2020. Disponible a: <<https://www.wartsila.com/marine/build/ship-design/merchant/container-feeders---ship-design>>.
- [16] Calderes Parat. Parat. Data de consulta: 13 d'octubre de 2020. Disponible a: <<https://www.parat.no/media/79258/marine-boilers.pdf>>.

-
- [17] Turbines Mitsubishi. Mitsubishi. Data de consulta: 13 d'octubre de 2020. Disponible a:< https://www.mhi-mme.com/products/boilerturbine/steam_turbine.html>.
- [18] Informació sobre NMEA 0183. Data de consulta: 20 d'octubre de 2020. Disponible a:<<http://www.plaisance-pratique.com/IMG/pdf/NMEA0183-2.pdf>>.
- [19] Navstore. Data de consulta: 25 d'octubre de 2020. Disponible a: < <https://www.navstore.com/> >.
- [20] Yachtd. Data de consulta: 26 d'octubre de 2020. Disponible a: < https://www.yachtd.com/products/nmea0183_gateway.html>.
- [21]Seaconsense. Digital Yacht. Data de consulta 3 de novembre de 2020. Disponible a:<<https://digitalyacht.net/wp-content/uploads/2019/11/SEACONSENSE-BROCHURE.pdf>>.
- [22] Múltiples consultes a Lowrance. Lowrance. Data de consulta: 8 de novembre 2020. Disponible a:<<https://www.lowrance.com/52bd7a33-5db1-42c2-8e9b-f495c9a4b2cd>>.
- [23] Múltiples consultes a NMEA. NMEA. Data de consulta: 9 de novembre 2020. Disponible a: <<https://www.nmea.org/>>.
- [24] Múltiples consultes a Garmin. Garmin Data de consulta: 12 de novembre 2020. Disponible a: <<https://static.garmin.com>>.
- [25] Múltiples consultes a Maretron. Maretron. Data de consulta: 13 de novembre 2020. Disponible a: <<https://www.maretron.com/>>.
- [26] Guia d'instal·lació d'una xarxa NMEA 2000, NMEA, data de consulta: 16 de novembre de 2020.Disponible a: <<https://www.nmea.org/Assets/2012%20ibex%20full%20%20nmea%20installation.pdf>>.
- [27] Informació sobre Profinet en el sector naval, Phoenix Contacts, data de consulta: 27 de desembre de 2020. Disponible a: < https://www.phoenixcontact.com/assets/interactive_ed/global/modules/0001475/index.html#10 >.

Annexes

Annex A: Taules informatives de les societats de classificació consultades.

A continuació s'ajunten les taules on es contenen els requisits de sensors per a la monitorització dels motors auxiliars respecte les quatre societats de classificació consultades, d'aquesta manera es pretén il·lustrar dues coses: La primera és quin material de treball s'ha fet servir, i la segona és els patrons que queden comentats al treball, destacant que DNV GL és el més divergent, Lloyd's Register es troba en un punt intermig i Bureau Veritas i RINA tenen uns requisits pràcticament idèntics.

DNV GL

Table 7 Auxiliary diesel engines

<i>F</i> = Fault <i>L</i> = Low limit <i>H</i> = High limit <i>R</i> = Reduction <i>S</i> = Shut down <i>T</i> = Trigger Stand-by activation	Sensor for alarms	Sensor for stand-by aggregate	Sensor for safety functions	Individual alarm at the bridge
<i>Auxiliary diesel engines</i>				
Pressure of lubricating oil	L		L S	
Temperature of lubrication oil	H			
Differential pressure of lubricating oil indicator filter	H			
Coolant pressure or flow	L			
Temperature of cooling water or cooling air	H			
Level of cooling water equalizing tank, if separate circuit	L			
Pressure of starting air	L			
Pressure of fuel oil	L			
Leakage in fuel injection pipes	F			
Overspeed			H S	
Level of fuel operating tank(s)	L			
Concentration of oil mist or temperature of engine bearings for engines with power above 2250 kW or with cylinder diameters above 300 mm.			H S	
Exhaust gas temperature of each cylinder	H			
Deviation from exhaust gas mean temperature	H			
Common rail fuel oil pressure	L			
Common rail servo oil pressure	L			

Figura 71: Taula de requisits sobre motors auxiliars (DNV GL). Font: DNV GL.

Lloyd's Register

Table 2.7.3 Auxiliary engines: Alarms and safeguards

Item	Alarm	Note
Lubricating oil inlet temperature	High	—
Lubricating oil inlet pressure	1st stage low	—
	2nd stage low	Automatic shutdown of engine, see Pt 5, Ch 2, 7.5 Unattended machinery 7.5.4
Activation of oil mist detection arrangements (or activation of the temperature monitoring systems or equivalent devices of: - the engine main and crank bearing oil outlet; or - the engine main and crank bearing)	High	Automatic shutdown of engine, see also Pt 5, Ch 2, 7.1 General 7.1.2
Fuel oil high pressure piping	Leakage	
Coolant outlet temperature (for engines >220 kW)	1st stage high	—
	2nd stage high	Automatic shutdown of engine
Coolant pressure or flow	Low	—
Fuel oil temperature or viscosity	High and Low	Heavy oil only
Overspeed	High	Automatic shutdown of engine, see also Pt 5, Ch 2, 7.4 Overspeed protective devices. Details of alternative proposals in accordance with the manufacturer's instructions may be submitted for consideration

Figura 72: Taula de requisits sobre motors auxiliars (Lloyd's Register). Font: Lloyd's Register.

Bureau Veritas

Table 4 : Monitoring of diesel engines used for auxiliary services

Symbol convention H = High, HH = High high, G = group alarm L = Low, LL = Low low, I = individual alarm X = function is required, R = remote	Monitoring		Automatic control				
			Engine			Auxiliary	
Identification of system parameter	Alarm	Indication	Slow-down	Shut-down	Control	Stand by Start	Stop
Fuel oil pressure		local					
Fuel oil leakage from pressure pipes	H						
Lubricating oil pressure	L	local		X			
Pressure or flow of cooling water, if not connected to main system	L	local					
Temperature of cooling water or cooling air		local					
Cylinder fresh cooling water, expansion tank level	L	local					
	LL		X				
Engine speed		local					
	H			X			
Exhaust gas temperature		local					
Fault in the electronic governor system	X						

Figura 73: Taula de requisits sobre motors auxiliars (Bureau Veritas). Font: Bureau Veritas.

RINA

Table 5 : Monitoring of diesel engines used for auxiliary services (1/7/2016)

Symbol convention H = High, HH = High high, G = group alarm L = Low, LL = Low low, I = individual alarm X = function is required, R = remote	Monitoring		Automatic control				
			Engine			Auxiliary	
	Alarm	Indica-tion	Slow-down	Shut-down	Control	Stand by Start	Stop
Identification of system parameter							
Fuel oil viscosity or temperature before injection (2)		local					
Fuel oil pressure (2)		local					
Fuel oil leakage from pressure pipes	H						
Lubricating oil pressure	L	local		X			
Pressure or flow of cooling water, if not connected to main system	L	local					
Temperature of cooling water or cooling air		local					
Engine speed		local					
	H			X			
Fault in the electronic governor system	X						

Figura 74: Taula de requisits sobre motors auxiliars (RINA). Font RINA.

Annex B: Especificacions tècniques del WSD80 1500 i de la resta de maquinaria consultada.

L'objectiu d'aquest annex és resumir la cerca que s'ha fet per al vaixell i la seva maquinària per a intentar basar-se en la realitat el màxim possible tot i fer un tractament simulat d'aquesta, aquest annex té informació sobre el vaixell portacontenidors escollit i sobre la seva caldera i turbina, aportant les dades més destacables com les dimensions d'aquestes.

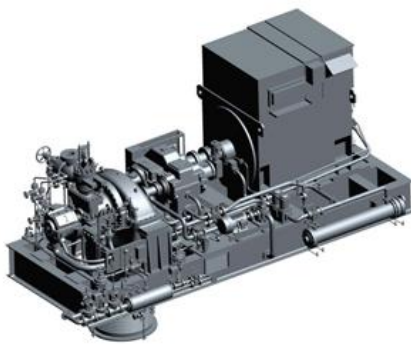
	<p>CONTAINER CAPACITY Container position On Deck (6 tiers)948 TEU In Hold560 TEU Total1,508 TEU</p> <p>Reefer plug position (on deck/in hold)..... 176/200 FEU</p> <p>Dangerous cargos in Cargo hold 1</p> <p>Container intake at Design draught HOMO 11V/TEU1,142 TEU HOMO 14V/TEU1,002 TEU</p> <p>Container intake at Scantling draught HOMO 11V/TEU1,212 TEU HOMO 14V/TEU1,002 TEU</p> <p>Based on ISO standard container, a rel. VCG of 45%</p> <p>E-PLANT 230 V/450 V Power 450 V, 60 Hz Lighting 230 V, 60 Hz Automation230 V, 60 Hz / 24 VDC</p>	<p>MACHINERY Main engine (6RT-flex50 D), MCR 10,470 kW NCR (82% MCR) 8,560 kW Generator sets2 x 1,405 kW x 2 x 1,005 kW Emerg. generator 1 x 150 kW Bow thrusters 1 x 1,081 kW Propeller..... 1 x FPP, dia. 5,900 mm</p> <p>FUEL CONSUMPTION, DESIGN DRAUGHT Service speed, no reefers36.7 t/day Service speed, all reefers48.5 t/day</p> <p>PERFORMANCE, SERVICE SPEED, SCANTLING DRAFT ME FOC 14V/TEU [g/TEU/nm] 80.5 ME FOC 11V/TEU [g/TEU/nm] 73.7</p> <p>ACCOMMODATION 24 persons full HVAC in single cabins</p>
<p>SERVICE SPEED & ENDURANCE Max. Speed 18.85 knots Service Speed..... 18.0 knots Endurance, approx 16,700 nm (service speed, design draught, with 15% SM)</p> <p>TANK CAPACITY HFO capacity, approx.1,550 m³ MDO capacity, approx. 340 m³ FW capacity, approx. 350 m³ Ballast capacity approx.9,100 m³</p> <p>STACK WEIGHT Hatch cover 20'/40'/45' 70t/105 t Main deck 20'/40'/45' 70t/105 t In holds 20'/40'/45' 150t/180 t</p>		

Figura 75: Algunes de les especificacions més rellevants del WSD80 1500. Font: Wärtsilä.



D (mm)	2.800
H1 (mm)	6.450
H2 (mm)	4.250
B1 (mm)	1.550
Weight oper. (Tons)	28.0
Weight lift (Tons)	19.5
Main (DN) Steam Valve	200
Safety (DN) Valve	2x65
Exhaust (DN) Outlet	700

Figura 76: Especificacions tècniques de la caldera escollida. Font: Parat.



Turbines		4 to 10 Rateau	
Turbines	No. of stages	4 to 10 Rateau	
	Power range (kW)	1,000 to 4,000	
	Speed range (rpm)	8,500 to 11,700	
	Steam inlet pressure (MPa)	0.4 to 12.3	
	Steam inlet temperature (°C)	Saturated temperature to 540	
	Exhaust pressure (mmHg)	400 to 722	
Reduction gears	Type	Single helical, single reduction gear	
	Output shaft speed (rpm)	900 to 3,600	
Dimensions	Width (mm)	1,800	
	Length (mm)	4,075	
	Height (mm)	1,890	
Approximate weights (kg)		7,100	

Figura 77: Especificacions tècniques de la turbina escollida. Font: Mitsubishi.

Annex C: LENS dels dispositius utilitzats a les xarxes simulades.

Nom del dispositiu	LEN
ALM(Alarma visual i auditiva)	2
Interfície de control	1
IPG100 (Adaptador NMEA 2000-Ethernet)	3
SIM100 (Unitat de monitorització de foc, fum, CO)	2
DCR100 (Unitat de relès)	3
RIM100 (Unitat de monitorització de càrregues elèctriques)	2
ACM100 (Unitat de monitorització de corrent alterna)	2
DCM100 (Unitat de monitorització de corrent contínua)	2
RAA100 (Adaptador de posició del propulsor)	2
FFM100 (Unitat de monitorització de cabdal)	3
TLM100 (Adaptador de nivell)	2
TMP100 (Unitat de monitorització de temperatura)	2
FPM100 (Unitat de monitorització de pressió)	8
CLM100 (Unitat de monitorització de velocitats, desplaçaments i altres)	8

Taula 24: LENS dels dispositius utilitzats a les xarxes simulades. Font: Pròpia.