

# A propulsão elétrica

## Lagoon 420

# O princípio

Grupo gerador 220V 11 KW - 50Hz ou 110V 13,5 KW - 60Hz

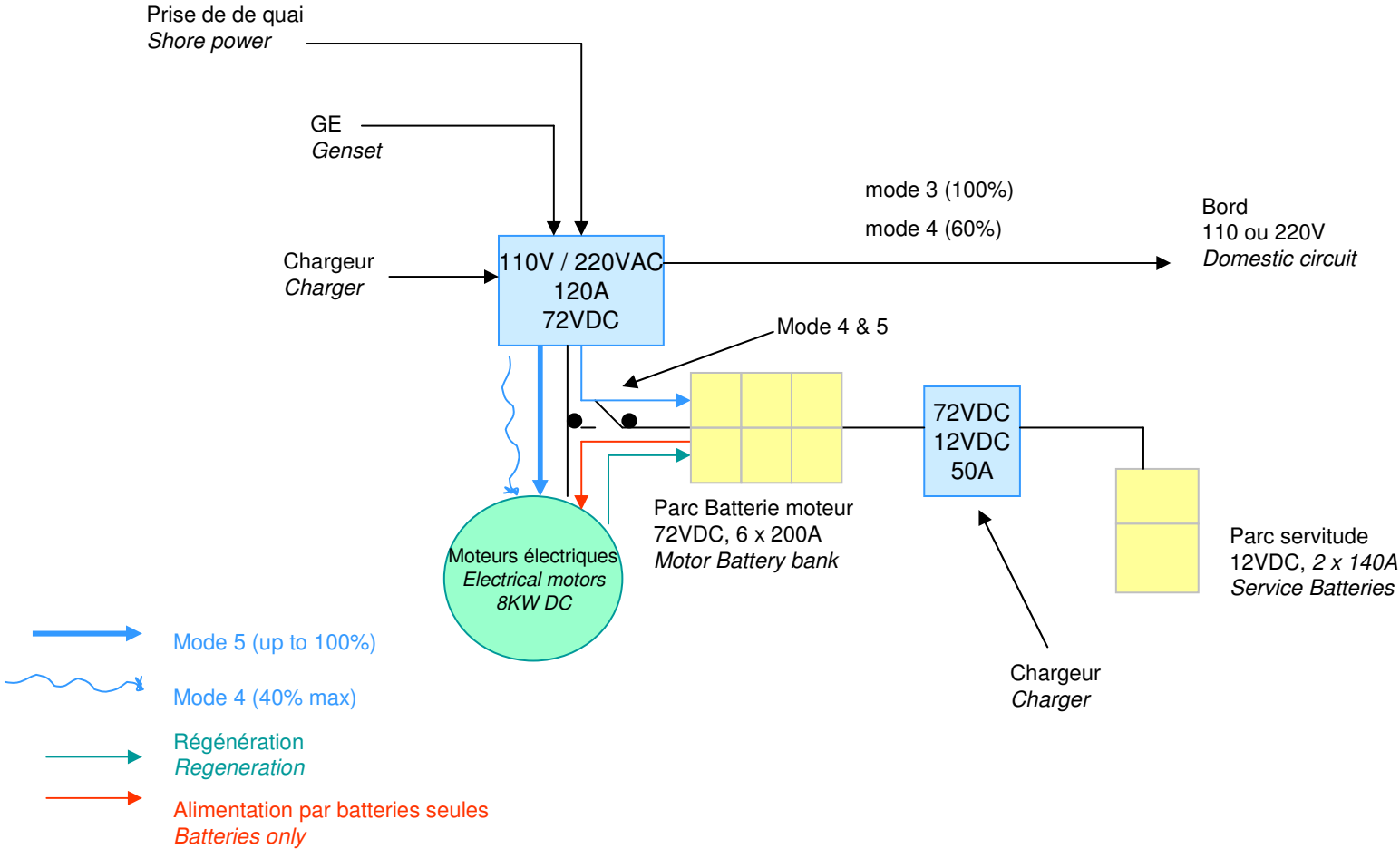
Carregador / Inversor 110V/220V - 72V, 120A

Estocagem da energia em dois bancos, de seis baterias cada, inteiramente dedicadas aos motores elétricos (segurança : em caso de pane de um banco de baterias, o outro pode alimentar um ou dois motores)

Propulsão por dois motores elétricos de 8kW (72Volts) cada

# Propulsion électrique LAGGON 420 / Electric Propulsion LAGOON 420

## Schéma de principe / Electrical Diagram



# O funcionamento

- Barco no cais, baterias carregadas ou em carga.
- Girar a chave de alimentação do gerador que fica na frente da cama de popa a boreste (perto das chaves gerais)
- Girar as duas chaves de alimentação dos motores elétricos que ficam em frente a cama de popa a bombordo.
- A chave do painel elétrico (no salão a boreste) permite a alimentação do sistema de propulsão. As baterias de propulsão alimentam os motores de propulsão. Selecionar o modo de funcionamento no painel elétrico (5 posições) com a chave seletora (vide capítulo : “ Os cinco modos de funcionamento”). Para a propulsão, selecionar as posições 4 ou 5.
- Precisa ativar "ON" no painel de controle no posto de comando : as manetes dos motores funcionam e o barco pode se movimentar, a potência disponível corresponde ao máximo disponível nas baterias. Esta segurança complementar permite desativar a rotação das hélices mas para mais segurança, precisa girar e retirar a chave do painel elétrico. Assim não tem riscos se nadar perto das hélices.
- Quando a capacidade dos bancos de baterias atinge 80% da carga, o gerador liga automaticamente. A potência disponível para os motores de propulsão está limitada na potência do gerador que em paralelo garante também uma carga positiva para as baterias de propulsão e de bordo.
- A potência fornecida por um gerador standard 220V é da ordem de 11kW no modo 4 e passa a 13,5kW no modo 5. Com a opção de gerador de 17,5kW, a potência disponível ultrapassa a demanda.

**Nota : o gerador liga automaticamente quando as baterias atingam 80% da carga e desliga automaticamente a cada hora para testar o estado dos bancos de baterias de propulsão. Ele religa automaticamente em seguida se a carga estiver abaixo de 80% ou fica desligado se a carga estiver acima a não ser que tenha uma demanda em 220/110V a bordo.**

# Os cinco modos de funcionamento

O funcionamento pode ser resumido em 5 situações principais seleccionadas pela chave de modo que fica no painel elétrico.

**Modo 1** : energia fornecida pelo cais.

Os consumidores são conectados diretamente a rede do cais. Uma parte da potência é reservada para o carregamento das baterias. O funcionamento dos motores é inibido.

**Modo 2** : sem fonte AC : velejando, as hélices giram livremente.

**Modo 3** : Gerador funcionando 220V 50Hz (ou 110V 60Hz). Rede de bordo alimentado sem a propulsão. Os consumidores de bordo 220VAC são conectados ao gerador. Uma parte da potência é reservada para a carga das baterias. Os comandos dos motores de propulsão são inibidos.

**Modo 4** : Gerador em funcionamento 220V 50Hz (ou 110V 60Hz), propulsão e rede de bordo alimentados : 60% da potência do gerador é reservada para os consumidores de bordo e 40% para a propulsão e/ou carga das baterias de propulsão.

**Modo 5** : Propulsão, rede 220V (ou 110V) não alimentado.

Navegação a vela : o gerador liga automaticamente.

Navegação com motores : a energia necessária a propulsão é fornecida pelas baterias. Quando a carga fica insuficiente, o gerador liga automaticamente.

# Funcionamento em modo 4 e 5 : regeneração.

- Para não frear o barco em velocidades baixas, o controlador é calibrado para uma velocidade de 4,5 nós, ou seja 150 r/min. Abaixo desta velocidade não tem regeneração, as hélices giram livremente em função da velocidade do barco.
  - A partir de 5 nós, o controlador “freia” a rotação da hélice para gerar energia : com 5 nós, em vez de uma rotação livre de 230 r/min, a hélice é freiada a 150 r/min produzindo ~ 3 Ampères.
  - Até atingir o valor máximo de regeneração (na saída do controlador), a rotação da hélice é limitada em 150 r/min; quando o máximo é atingido, o controlador solta progressivamente a pressão sobre a hélice. O valor máximo é calibrado em 18 Ampères por motor, o que representa uma perda de ~1 nó na velocidade de 9,5 nós.
  - Em alta velocidade (perto de 18 nós), a regeneração é desligada para não sobrecarregar.
- As baterias de propulsão carregam as baterias de bordo através de um carregador/conversor 72/12V de 50 Ampères. Assim as baterias de bordo ficam sempre carregadas e se beneficiam da regeneração quando o barco navega. Ancorado, ou se a demanda for importante, o descarregamento até 80% da carga das baterias de propulsão vão acionar automaticamente o gerador. Os dois bancos de baterias são assim perfeitamente protegidos.**
- **Sempre é possível desligar o modo regeneração com o botão “OFF” do painel do motor ou selecionando os modos 1, 2 ou 3 para não freiar o barco.**
  - **Quando as baterias são carregadas, a hélice é liberada e o sistema testa a necessidade de religar a regeneração conforme a carga das baterias.**
  - **O sistema de regeneração gerencia a carga de forma inteiramente automática (como um carregador de baterias comum)**
  - **A velocidade do barco nunca é freiada em mais de 1 nó.**

# Autonomia com baterias

A autonomia com baterias é calculada baseada em uma velocidade de 5 nós com menos de 5 nós de vento (é um veleiro)

A autonomia de 100% a 80% de carga é estimada em 2 horas e meia.

Se o gerador que liga automaticamente quando atingir 80% da carga é desligado, a autonomia suplementar até atingir 60% da carga é de uma hora e meia.

No total são 4 horas de funcionamento com as baterias na velocidade de 5 nós, sabendo que após 2 horas e meia as baterias comencam a se deteriorar.

Com 60% de carga o gerador liga novamente automaticamente para proteger as baterias. Se ele for desligado, ele religa imediatamente até as baterias atingirem a carga máxima. O único meio de impedir o religamento do gerador seria desligar a chave das baterias que fica na cabine de popa no boreste.

**Em consequência :**

**Para uma conservação otimizada das baterias, é aconselhado de não navegar mais do que 12,5 milhas o que é plenamente suficiente para qualquer entrada de porto e manobras para atracar.**

**Acima de 20 milhas : risco de deterioração dos bancos de baterias.**

# Performances

A velocidade de cruzeiro com gerador de 11kW é de ~7 nós.

A velocidade máxima com as baterias carregadas a 100% ou com gerador de 17,5kW é de ~8 nós.

# LOAD AND CONSUMPTION IN OPERATING MODE 4 & 5

## CONTROLLER IN POSITION 5

<b>Motor BATTERIES</b> 100%	
<b>Genset</b>	0 Amps Genset OFF
<b>Motor Batteries</b>	2x150 Amp 72V 1x8 Amps 72V Service Batteries (equ. 50 Amps 12V)
<b>Service Batteries</b>	50 Amps 12V For domestic appliances needs
<b>SPEED</b>	7,5 Kts
<b>OPERATING TIME</b>	1h00
<b>Lagoon 420 estimated SPEED</b>	8 Kts
<b>OPERATING TIME</b>	1h00

<b>Genset</b>	2x60 Amps Genset ON
<b>Motor Batteries</b>	2x90 Amp 72V 1x8 Amps 72V Service Batteries (equ. 50 Amps 12V)
<b>Service Batteries</b>	50 Amps 12V For domestic appliances needs
<b>SPEED</b>	8,1 Kts
<b>OPERATING TIME</b>	1h00
<b>Lagoon 420 estimated SPEED</b>	8,5 Kts
<b>OPERATING TIME</b>	1h00

## CONTROLLER IN POSITION 4

<b>Motor BATTERIES</b> 100%	
<b>Genset</b>	2x16 Amps 72V 1x8 Amps 72V 1x32 Amps 220V Motors Motor Batteries Domestic appliances needs
<b>Motor Batteries</b>	0 Amp 72V 1x8 Amps 72V Service Batteries (equ. 50 Amps 12V)
<b>Batteries bord</b>	50 Amps 12V For domestic appliances needs
<b>SPEED</b>	3,5 Kts
<b>OPERATING TIME</b>	ENDLESS
<b>Lagoon 420 estimated SPEED</b>	4 Kts
<b>OPERATING TIME</b>	ENDLESS

## CONTROLLER IN POSITION 5

<b>Motor BATTERIES</b> 80%	
<b>Genset</b>	2x56 Amps 72V 1x8 Amps 72V Motors Motor Batteries
<b>Motor Batteries</b>	0 Amp 72V 1x8 Amps 72V Service Batteries (equ. 50 Amps 12V)
<b>Service Batteries</b>	50 Amps 12V For domestic appliances needs.
<b>SPEED</b>	6 Kts
<b>OPERATING TIME</b>	ENDLESS
<b>Lagoon 420 estimated SPEED</b>	6,8 Kts
<b>OPERATING TIME</b>	ENDLESS

## CONTROLLER IN POSITION 4

<b>Motor BATTERIES</b> 80%	
<b>Genset</b>	2x16 Amps 72V 1x8 Amps 72V 1x32 Amps 220V Motors Motor Batteries Domestic appliances needs
<b>Motor Batteries</b>	0 Amp 72V 1x8 Amps 72V Service Batteries (equ. 50 Amps 12V)
<b>Batteries bord</b>	50 Amps 12V For domestic appliances needs
<b>SPEED</b>	3,5 kts
<b>OPERATING TIME</b>	ENLESS
<b>Lagoon 420 estimated SPEED</b>	4 Kts
<b>OPERATING TIME</b>	ENDLESS

## CONTROLLER IN POSITION 5

<b>Motor BATTERIES</b> 60%	
<b>Genset</b>	2x15 Amps 72V 1x90 Amps 72V Motors Motor Batteries
<b>Motor Batteries</b>	0 Amp 72V 1x8 Amps 72V Service Batteries (equ. 50 Amps 12V)
<b>Service Batteries</b>	50 Amps 12V For domestic appliances needs.
<b>SPEED</b>	3,5 Kts
<b>OPERATING TIME</b>	Motor Battery charging
<b>Lagoon 420 estimated SPEED</b>	4 Kts
<b>OPERATING TIME</b>	Motor Battery charging

## CONTROLLER IN POSITION 4

<b>Motor BATTERIES</b> 60%	
<b>Genset</b>	2x16 Amps 72V 1x8 Amps 72V 1x32 Amps 220V Motors Motor Batteries Domestic appliances needs
<b>Motor Batteries</b>	0 Amp 72V 1x8 Amps 72V Service Batteries (equ. 50 Amps 12V)
<b>Service Batteries</b>	50 Amps 12V For domestic appliances needs
<b>SPEED</b>	3,5 Kts
<b>OPERATING TIME</b>	ENDLESS
<b>Lagoon 420 estimated SPEED</b>	4 Kts
<b>OPERATING TIME</b>	ENDLESS

VALIDATION UNDER PROCESS

# ALGUMAS PERGUNTAS

Q.: Com baterias, qual é a velocidade máxima e durante quanto tempo ?

R.: Estimado por cálculo : Baterias carregadas (margem de 60%) >  $205 * 0.6 = 123 \text{ Ah}$

Potência disponível =  $123 \text{ Ah} \times 72\text{V} = 8856 \text{ Wh}$  ---> No final temos 8856 Wh disponível por motor, e uma velocidade de ~6,6 nós. A autonomia depende da velocidade mas no máximo (8kW por motor) a autonomia é de ~1 hora.

Q.: A partir de qual velocidade a regeneração deve ser desligada ?

R.: Está claro para o usuário, o controlador sabe quando tem que ligar e desligar a regeneração.

Q.: Quais potências podem ser transmitidas aos motores e via qual meio ?

R.: O gerador fornece 9,6kW (através do carregador – o gerador fornece 11kW ao carregador que restitue 9,6kW) de potência aos motores.

1 Em funcionamento contínuo 24/24h, o gerador fornece diretamente 9,6kW aos motores, ou seja 4,8kW por motor o que representa uma velocidade de ~7 nós. Pode se desligar manualmente o banco de baterias com os disjuntores 72VDC quando a propulsão está ligada.

2 No máximo dos motores (8kW), as baterias fornecem 3,2kW para cada motor. Em consequência, a autonomia com o gerador junto com as baterias é de no máximo 2 horas e 45 minutos.

3 Em teoria, após 2 horas e 45 minutos na velocidade máxima a tensão das baterias vai cair e a velocidade do barco vai diminuir até a velocidade de equilíbrio citada no ponto 1.

Q.: Vocês afirmem que a rotação é limitada em 660 r/min. Em testes, a velocidade mediada foi de 7,5 nós com 626 r/min e 9 nós de vento de popa. Como é possível atingir 8 nós com somente 34 r/min suplementares ?

R.: Em teoria a pergunta é válida. Mas nesta velocidade tem que levar em consideração a potência e torque disponíveis. Por exemplo : 7,5 nós - 626 r/min – Torque : 78 Nm – Potência motor : 5113,27W. Sabendo que o torque máximo é de 115Nm e a potência máxima de 8000W, temos ainda 36% de potência de sobra. Não pode focalizar na velocidade de rotação do motor, não é um motor térmico.

Q.: Quanto custa a troca dos rolamentos a cada 20.000 horas ? Quem pode fazer ?

R.: Os rolamentos são standard e trabalhamos para que a troca possa ser facilmente executada pelo serviço pós vendas mundial da Leroy Somer.

Q.: Carga do banco de baterias pelo gerador : quantos Ampères ? O carregador precisa ser substituído se for escolhido o gerador de maior potência ?

R.: 120A no modo 5. Com gerador de 17,5kW, instalamos 2 carregadores em paralelo para poder fornecer 19,2kW aos motores sem consumir a energia das baterias.

Q.: O carregador de baterias de propulsão para energia vindo do cais é o mesmo que o carregador de energia vindo do gerador ?

R.: O carregador é o mesmo independente da fonte (cais ou gerador).

Q.: Pode-se instalar hélices bico de pato ? Se afirmativo, quais ? Isto vai alterar as performances com motor ?

R.: Com hélices bico de pato não tem regeneração a não ser com hélices com passo variável reguláveis a partir do bordo. Testes com a marca Autoprop vão ser realizados.

Q.: Sensibilidade dos comandos dos motores : de 1 r/min a 100%

R.: A sensibilidade é comparável a comandos elétricos de motor diesel.

Q. Como percebe-se que o motor está ligado, mesmo a 1 r/min ?

R.: O amperímetro indica que o motor está ligado.

Q.: Tem muito barulho em regeneração ?

R.: Escuta-se a rotação do eixo da hélice cujo ruído é inferior a 46 Dbs

Q.: Os motores esquentam muito ?

R.: Entre 40 e 65°C.

Q.: As baterias Gel são vantajosas em relação a performance e vida útil ?

R.: Não tem manutenção, não tem necessidade de ventilação. Para o resto, elas tem quasi as mesmas características que as baterias tradicionais com ácido.

Q.: Qual é o consumo do gerador de 11kW e 17,5kW com os motores a 100% ?

R.: Consumo de gerador a 100% de potência : 11kW : ~3,4 l/h ; 13,5kW : ~4,5 l/h ; 17,5kW : ~6,1 l/h ; 21,5kW : ~7,2 l/h. São valores teóricos pois o gerador não está sempre solicitado a 100%.

Q. : Como aproveitar a bordo a energia acumulada nas baterias de propulsão por regeneração durante uma travessia ?

R: A energia é imediatamente disponível pois as baterias de bordo são alimentadas pelas baterias de propulsão que são recarregadas pela regeneração ou pelo gerador.

Q. : Porque motores de 72V e não mais ?

R.: O limite de periculosidade para o ser humano é de 80V. Decidimos ficar 10% abaixo deste valor por razões de segurança, além do mais esta voltagem é suficiente.

Q : A potência de 2x8kW é muito fraca para um catamaran deste peso e com grande obras vivas pois as condições de vento não são sempre favoráveis para acessar lugares para ancorar. Mesmo sabendo que com eletricidade a potência pode ser dividida por 2 ?

R : Características medidas com o Lagoon 440 : velocidade 5 nós com mar formado e vento de proa de 25~30 nós. (Características mantidas constantes com os geradores 17,5/21,5kW). A velocidade de rotação de motores térmicos gera muitas perdas (hélices de diâmetro e passo pequeno, vibrações, transmissão, etc...); se for olhar as curvas de arrasto dos cascos percebe-se que os kilowatts téóricos necessários para obter as velocidades desejadas são muito próximos dos valores medidos em barcos de propulsão elétrica. Além disto, limitamos propositalmente a velocidade pois a potência necessária acima de 8 nós cresce exponencialmente. Precisa dobrar a potência para passar de 8 para 9 nós !

Q : O banco de baterias e a autonomia são fracos demais. A superfície do “roof” e do “bimini” poderiam acomodar painéis solares de grande potência mas infelizmente é inútil pois a capacidade do banco de baterias é ridícula. As baterias seriam carregadas muito rapidamente (sobrecarga !) mas descarregadas rapidamente o que necessitaria também o uso intensivo do gerador. Isto seria ridículo. Onde fica o banco de baterias ? É possível aumentar a capacidade com baterias adicionais ou melhor com baterias Golf Cart ou baterias L16 de 6V (problema de altura disponível ?)

R : O banco de baterias foi calculado para uma autonomia de 20 milhas (4 horas a 5 nós). São 2x6 baterias de 12V-210Ah que pesam ~840kg. Sabemos que as baterias serão usadas para sair ou entrar no porto ou em caso de emergência (pane do gerador). O banco de baterias fica na popa. Várias tecnologias de baterias podem ser consideradas. No nosso caso, as baterias escolhidas tem o melhor custo/benefício/volume/potência e disponibilidade internacional. A recarga do banco de baterias é assegurada a partir da velocidade de 5 nós velejando. Com a regeneração temos facilmente 1500 W/h. Com painéis solares, apenas um máximo de 120 W/h/m<sup>2</sup> para um painel bem exposto e com boas condições de sol podem ser gerados.

Q : A escolha de 72V é surpreendente e única pois no meu conhecimento todos os motores CC concebidos para uso industrial trabalham com voltagem de 120. 250 ou 500V conforme a potência

R : A escolha de 72V não é surpreendente. Como prova, é a mesma voltagem usada pela Estrada de Ferro Francês (SNCF) e a maioria das máquinas de movimentação (empilhadeiras, etc... ).

Q : A ideia foi provavelmente tranquilizar os ignorantes falando de segurança com menos de 80V, mas em segurança elétrica é a amperagem e não a voltagem o mais importante. Esta escolha de marketing não está contrária a vida útil ?

R : Para proteção dos usuários é preferível trabalhar com baixa tensão. Não podemos dissociar os riscos oriundos da tensão ou da amperagem pois estas duas variáveis são proporcionais. A tensão máxima para o corpo humano é de 50VAC, a amperagem máxima é de 30mA. Resistência humana :  $R = U/I = 50 / 0,03 = 1667 \text{ Ohms}$ . Estamos trabalhando com 72V :  $I = U/R = 72/1667 = 43\text{mA}$ . Mas no caso de corrente contínuo, a amperagem máxima admissível pelo corpo humano é de 130mA (de acordo com fabricante de motor).

Consequentemente a escolha é sensata. Se for trabalhar em 220V :  $I = 220/1667 = 131\text{mA}$  o que seria perigoso ! A tensão precisa ser REALMENTE levada em consideração pois ela vai “calibrar” a amperagem.