



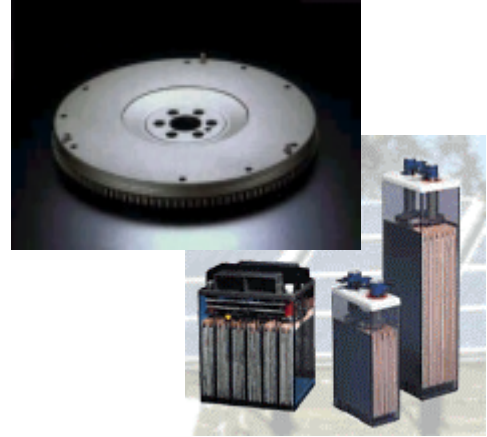
Tecnologias de Micro-Geração e Sistemas Periféricos

PARTE III – Tecnologias de Armazenamento de Energia -

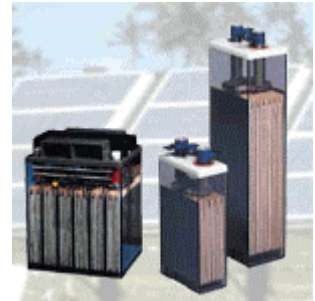


UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

9 - Electricidade



9.1 - Baterias



9.1.1 – Descrição da tecnologia

Uma bateria, ou acumulador, permite acumular energia, conservá-la e restituí-la mais tarde. Assim, uma bateria representa uma fonte autónoma de electricidade. Existem duas categorias principais de baterias:

- As baterias primárias
- As baterias secundárias

As **baterias primárias** são aquelas que produzem electricidade sem necessidade de ser carregadas por uma outra fonte de alimentação externa. Produzem a sua energia a partir de uma reacção electroquímica, geralmente irreversível, o que as inutiliza. As combinações usadas nas baterias primárias são: alcalina, carbono-zinco ou cloro-zinco, lítio, óxido de prata, zinco-ar ou mercúrio.

As **baterias secundárias** são aquelas que necessitam ser carregadas por uma fonte de alimentação externa antes de produzir electricidade. Uma bateria secundária pode ser carregada e descarregada várias vezes, podendo armazenar muito mais energia do que uma bateria primária. São possíveis várias combinações químicas, pertencentes à família do “chumbo-ácido”. As baterias chumbo-ácido representam cerca de 60% das baterias vendidas em todo o mundo e apresentam a grande vantagem de ser facilmente recicladas (ver figura 9.1).

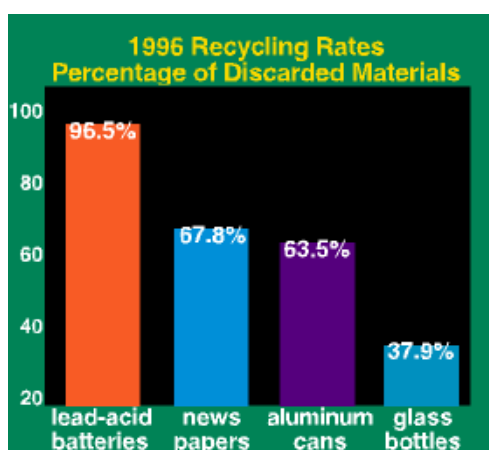


Figura 9.1 – Percentagem de baterias chumbo-ácido recicladas
(fonte: www.batterycouncil.org)

Os diferentes tipos de baterias e as respectivas utilizações típicas são as seguintes:

- **Baterias chumbo-ácido abertas:** representam a forma mais comum das baterias chumbo ácido. A desvantagem reside no facto de ser necessário o enchimento com água em intervalos regulares.
- **Baterias chumbo-ácido estanques (VRLA):** permitem a recombinação dos gases produzidos durante o seu funcionamento, o que faz reduzir as perdas de água. Estas baterias duram muito tempo e têm capacidades elevadas.
- **Baterias de níquel-cádmio:** funcionam com temperaturas muito baixas e recarregam-se sobre correntes muito fortes, o que reduz o tempo de recarga. São robustas e apropriadas para os ambientes hostis.
- **Baterias de lítio:** são leves, fornecem muita energia e duram muito tempo, normalmente mais de 10 anos. Uma outra grande vantagem consiste no facto de poderem funcionar numa grande gama de temperaturas, normalmente entre -40°C e +80°C.

Quadro 9.1 – Comparação das especificações de diferentes tipos de baterias

	Energia específica (Wh/kg)	Energia e densidade (Wh/kg)	Potência específica (W/kg)	Ciclo de vida	Tempo de recarregamento (Horas)	Rendimento energético (%)	Matérias recicláveis (%)
Chumbo-ácido actual	33	30	130	400	8 até 17	65	97
Perspectivas para as Chumbo-ácido	42	93 Wh/L	240	800	< 5	na	100
Níquel-Cádmio	57	56	200	2000	8	65	99
Níquel-Ferro	55	50	100	2000	4 até 8	60	99
Níquel-Metal Hídrida	70	80	250	600	< 6	90	90
Lítio-lão	100	100	300	1200	< 3	na	50

9.1.1.1 - Princípio de funcionamento de uma bateria chumbo-ácido

Uma bateria é composta, geralmente, por uma série de acumuladores que formam um circuito fechado onde a corrente eléctrica pode circular.

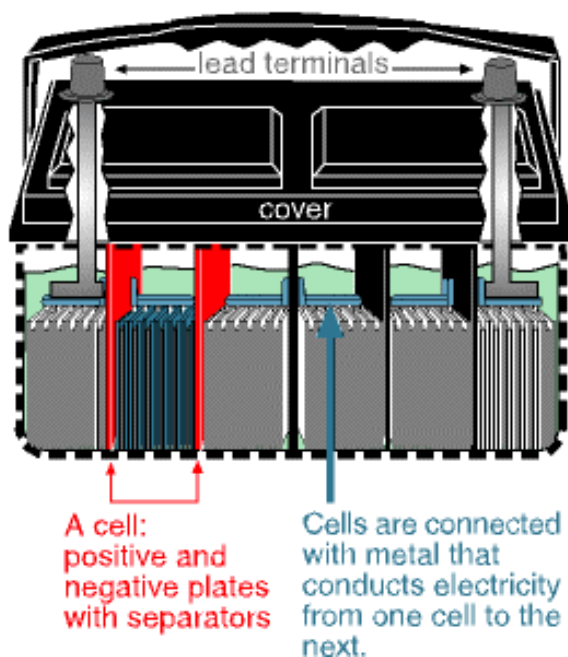


Figura 9.2 – Esquema de uma bateria (fonte: www.batterycouncil.org)

No circuito externo, a corrente eléctrica é resultante do movimento de electrões enquanto que no interior de cada acumulador a corrente é resultante da deslocação de iões de um eléctrodo para outro (ver figura 9.3). Durante esta fase, as matérias activas esgotam-se e a reacção abranda até que a bateria deixa de ser capaz de fornecer os eléctrodos, o que significa que a bateria está descarregada. Invertendo o sentido da corrente eléctrica, a reacção química no interior da bateria inverte-se, carregando novamente a bateria.

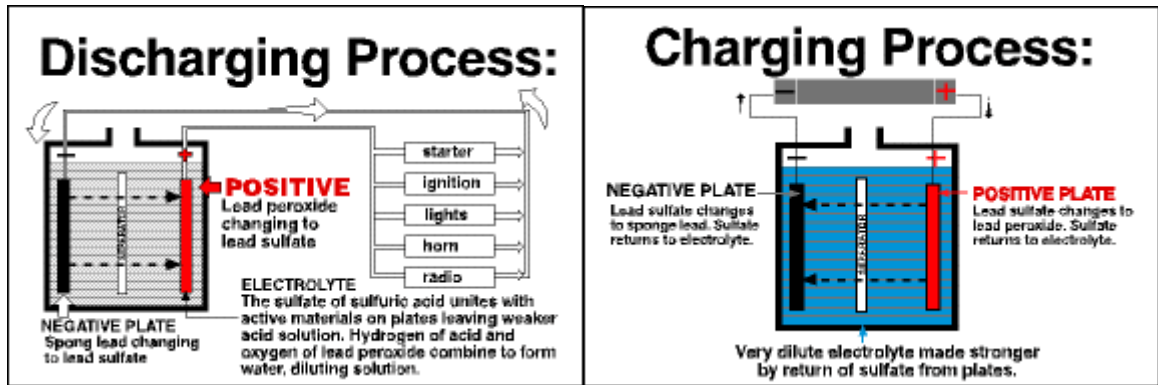


Figura 9.3 - Processos de carregamento e de descarregamento de uma bateria (fonte: www.batterycouncil.org)

O eléctrodo positivo designa-se por ânodo enquanto que o eléctrodo negativo se designa por cátodo. O ânodo recebe os electrões do circuito externo quando o acumulador está descarregado. O cátodo transfere os electrões para o circuito externo quando o acumulador se descarrega.

Num acumulador de chumbo-ácido, o ânodo é construído em dióxido de chumbo (PbO_2) e o cátodo em chumbo poroso (Pb). Entre os dois, o electrólito é o ácido sulfúrico diluído (H_2SO_4). É o intercâmbio electroquímico que tem lugar entre os vários componentes que produz a corrente eléctrica. Quando a bateria se descarrega, os electrões passam do ânodo para o cátodo em direcção ao circuito externo ligado à bateria.

Durante o funcionamento de uma bateria, um electrólito da água faz com que o oxigénio seja libertado na parte positiva e o hidrogénio na parte negativa da bateria ($H_2O \Rightarrow 2H + O$). Resulta numa perda de água que é necessário compensar com regularidade. No entanto, alguns tipos de baterias permitem uma recombinação destes gases. O princípio consiste em deixar passar o oxigénio do pólo positivo até o pólo negativo (ver figura 9.4).

As tecnologias usadas são:

- **Baterias AGM** (recombinação de gás / microfibras de vidro absorventes): utilizam um separador especial de microfibras de vidro muito poroso que absorve o ácido.
- **Baterias gel**: o electrólito é uma mistura de ácido sulfúrico e de sílica bem dispersada para produzir um gel. Este tipo de acumulador é mais resistente que o acumulador AGM

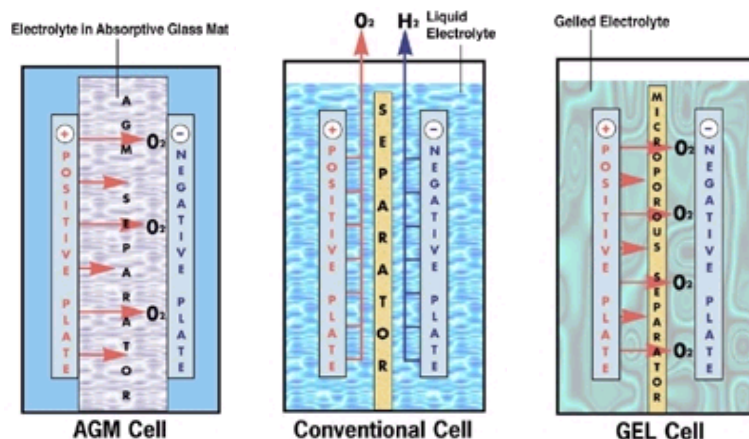


Figura 9.4 - Os diferentes tipos de baterias (fonte: www.hawker.invensys.com)

9.1.2 - Definições

- Capacidade, em Ah - exprime a intensidade máxima de corrente que teoricamente uma bateria é capaz fornecer durante uma hora (e.g. uma bateria de 80 Ah pode fornecer 80 A durante 1 hora, ou 4 A durante 20 horas).
- Energia específica, em Wh - total de energia que a bateria pode fornecer por unidade de massa, para uma determinada taxa de descarga.
- Densidade energética, em Wh - total de energia que a bateria pode fornecer por unidade de volume para uma determinada taxa de descarga.
- Ciclo de vida - número de vezes que a bateria pode estar descarregada e carregada durante a sua vida útil. Quando a bateria não consegue apresentar uma carga superior a 80% da carga nominal, considera-se o seu ciclo de vida terminado.

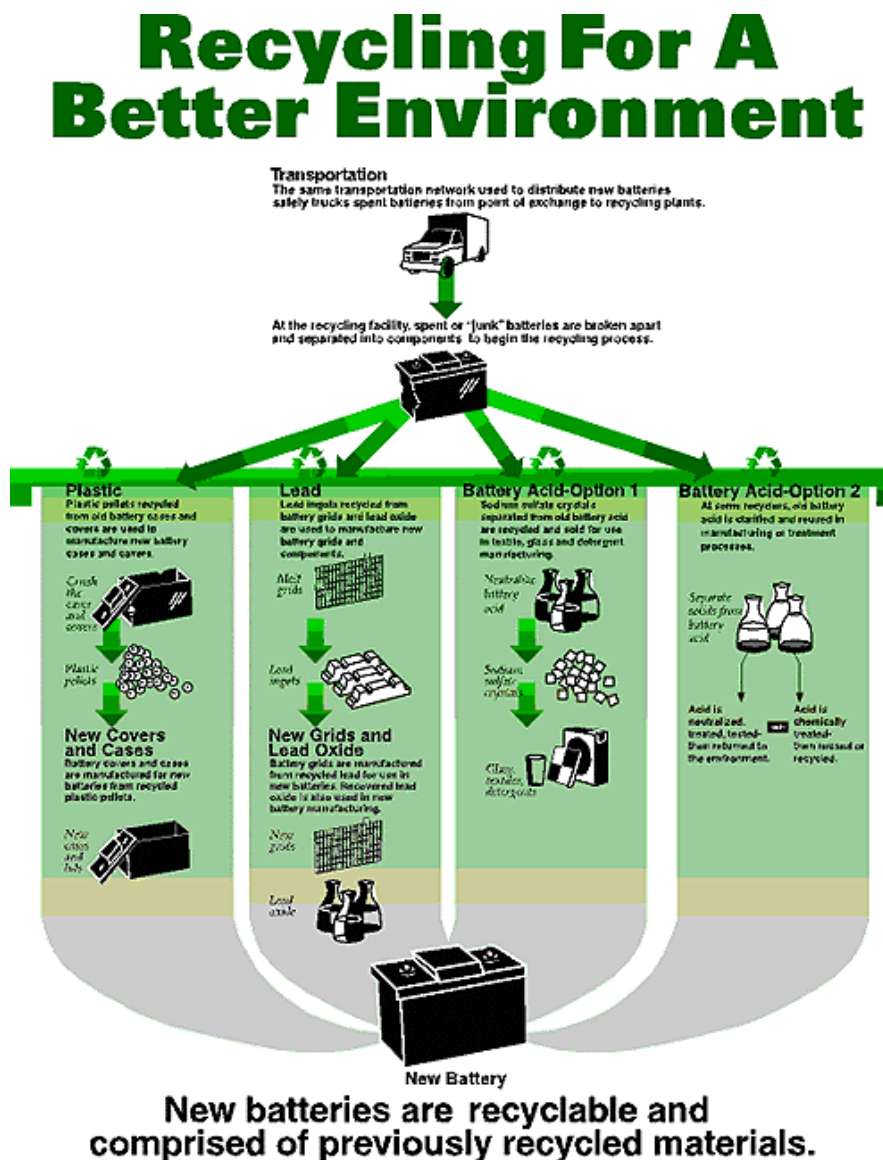
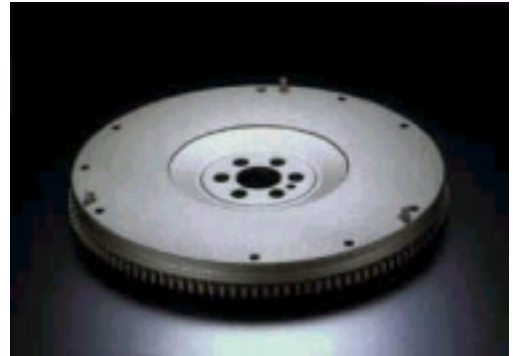


Figura 9.5 – Reciclagem de baterias chumbo-ácido (fonte: www.batterycouncil.org)

9.2 - Flywheels



9.2.1 – Descrição da tecnologia

A principal função de uma flywheel, ou bateria electro-mecânica, consiste em conservar energia cinética por intermédio de um disco em alta rotação. A ideia é imprimir uma velocidade superior a cerca de 150000 rotações por minuto e posteriormente utilizar a energia eléctrica armazenada neste sistema. A energia acumulada por uma flywheel é dada pela seguinte equação:

$$K = \frac{1}{2} I \omega^2$$

onde K representa a energia cinética, I o momento de inércia do disco e ω a velocidade angular do disco.

Inicialmente as flywheels foram desenvolvidas para utilização em veículos automóveis como fonte “limpa” de energia. Hoje o desenvolvimento concentra-se nas aplicações tipo bateria electro-mecânica (*EMB - Electromechanical Battery*). Os componentes básicos são: um rotor, um veio, um espaço em vácuo, uma chumaceira e um motor/gerador (ver figura 9.6).

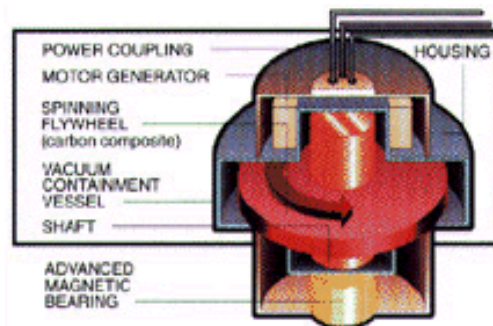


Figura 9.6 – Esquema de uma bateria electro-mecânica (flywheel)
(fonte: www.isp.nwu.edu)

As flywheels são compostas por um rotor muito resistente que gira num espaço vazio permitindo minimizar as perdas aerodinâmicas, e por um motor/gerador que permite impulsionar a flywheel dando-lhe velocidade (motor) ou converter a energia cinética do rotor em energia eléctrica (gerador). Usam-se chumaceiras magnéticas para eliminar virtualmente todos os tipos de fricção.

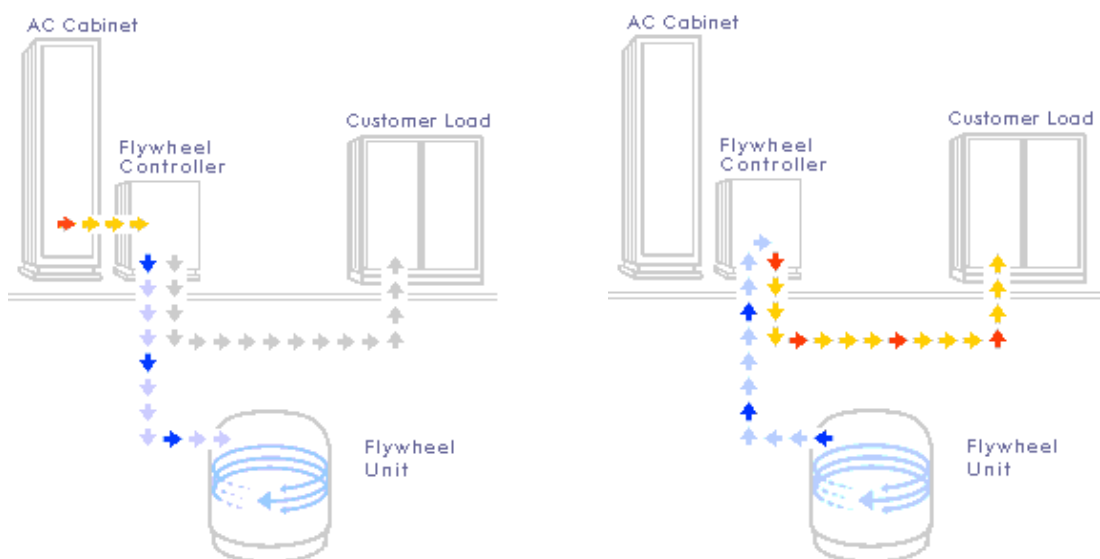


Figura 9.7 – Processo de carregamento (esq.) e descarregamento de uma flywheel (dir.)

Uma flywheel densa contém mais energia que uma flywheel menos densa, mas o perigo de desintegração é maior. Por outro lado, uma flywheel menos densa tem a capacidade de rodar mais rapidamente. Assim, como a energia cinética é proporcional ao quadrado da velocidade do rotor, mas apenas linearmente proporcional à massa, a flywheel ideal seria constituída em material resistente e de pequena densidade.

Devido à grande velocidade na superfície do cilindro rotor, o atrito com o ar é de extrema importância, o que justifica a presença do espaço em vácuo. Para além disso, como existe a possibilidade de sobre-aquecimento, é usual incorporar um sistema de arrefecimento.

Um sistema de bateria com uma flywheel tem uma **capacidade de armazenamento de energia** de cerca de 0.5 kWh até 500 kWh. Uma flywheel perde menos de 0,1% da energia acumulada por hora, quando se utilizam chumaceiras magnéticas. Desta forma, uma flywheel não consegue conservar a energia durante muito tempo. No entanto, a flywheel apresenta a vantagem de poder fornecer a energia acumulada muito rapidamente, ou seja, permite atingir potências elevadas.

Há diferentes formas de utilizar uma flywheel como bateria electro-mecânica, mas todas são caracterizadas por necessitarem de potências eléctricas relativamente elevadas.

- ✓ Transportes: Será seguramente neste sector que as flywheels poderão ter o maior potencial de desenvolvimento, não apenas nos automóveis, mas também nos transportes de maior dimensão como barcos ou comboios. Para os automóveis, existem já projectos que propõem colocar 10-20 flywheels em substituição de baterias chumbo-ácido, representando zero emissões (Miller).
- ✓ Satélites: Neste caso a flywheel armazena energia convertida por painéis solares fotovoltaicos.
- ✓ Computadores: nos casos em que uma falha de energia tenha consequências graves, as flywheels podem funcionar como UPS.

9.2.2 Vantagens e desvantagens

A grande vantagem duma flywheel reside nas suas características ambientais. No entanto, as flywheels enfrentam alguns problemas:

- O contentor do sistema deve ser concebido para resistir em caso de desintegração da flywheel, o que significa impactos com fragmentos com alta velocidade.
- O efeito giroscópico da flywheel pode, por exemplo, fazer tombar o carro numa curva. Os componentes devem ser resistentes a tais forças, ou então essas forças devem ser neutralizadas ou minimizadas.
- Para a utilização em transportes, o sistema deve ser suficientemente resistente para prevenir qualquer choque.
- Elevado custo face às tecnologias concorrentes

Quadro 9.2 – Vantagens de uma Flywheel face às tecnologias concorrentes (fonte: www.beaconpower.com)

	Flywheel Beacon	Baterias VRLA	Pilhas Combustível
Vida Útil	>20 anos	1-7 anos	>20 anos
Ciclos de Descarregamento	>10 000	50-60	N/A
Fiabilidade	Alta	Baixa	Alta
Efeito de Alta Temperatura	Nenhum	Diminui a Vida Útil	Necessidade de Arrefecimento
Efeito de Baixa Temperatura	Nenhum	Diminui a Capacidade	Nenhum
Impacto Ambiental	Nenhum	Fabrico, Operação, e Disposição	Nenhum
Manutenção	Nenhum	6 meses	6 meses
Fonte de Energia	Fornecimento Mecânico	Fornecimento Químico	Combustível Externo, Necessidade duma reserva
Tempo de Arranque	Instantâneo	Instantâneo	Minutos
Tempo de Recarregamento	<1 hora	10-20 horas	Minutos
Custos de Operação	Reduzidos	Muito Elevados	Elevados

9.2.3 – Fabricantes e produtos

Quadro 9.3 – Resumo das principais características de alguns modelos de bateria electro-mecânica (1)

Fabricante / distribuidor	Tipo	Output			Input	
		Tempo de ligação (s)	Output voltagem (V DC)	DC ondulação (%)	Input voltagem (V DC)	Tempo de carregamento (min)
Active Power	CS200		360 até 550	<2	400 até 600	20
	CS300		360 até 550	<2	400 até 600	20
	CS400		360 até 550	<2	400 até 600	20
	CS600		360 até 550	<2	400 até 600	20
AFS Trinity Power Corporation	M2A		220 - 400			
	M3A		220 - 400			
Beacon Power Corporation	20C1000		36 – 48 - 96		120 – 240 (AC)	<120
Caterpillar	Cat UPS 300	1 até 15	480 (AC)		480 (AC)	<2.5
	Cat UPS 250I	1 até 15	380/400/415 (AC)		380/400/415 (AC)	<2.5
	Cat UPS 250IE	1 até 15	380/400/415 (AC)		380/400/415 (AC)	<2.5
	Cat UPS 500	1 até 15	380/400/415 (AC)		380/400/415 (AC)	<2.5
	Cat UPS 750	1 até 15	380/400/415 (AC)		380/400/415 (AC)	<2.5
Flywheel Energy System Inc.	ACES					
Optimal Energy Systems						
Precise Power Corporation	Roesel Motor – Generator		208 - 240 - 480		208 – 240 - 480	
Tribology Systems, Inc.	FLB-E					
	FLB-A					
	FLB-B (em desenvolvimento)					
	FLB-C (em desenvolvimento)					
	FLB-D (em desenvolvimento)					
Urenco Power Technologies	UPT Flywheel	<5 ms	450 - 800	<2 V	450 - 800	40s<
Wissenschaftlich-Technisches Zentrum						

Quadro 9.4 – Resumo das principais características de alguns modelos de bateria electro-mecânica (2)

Fabricante / distribuidor	Tipo	Potência fornecida (kW)	Dimensão CxLxh (em mm)	Peso (kg)	Eficiência (%)
Active Power	CS200	De 40/60 até 160/15	1030x1013x2091	1350	
	CS300	De 40/75 até 240/12.5	1030x1013x2091	1350	
	CS400	De 40/120 até 320/15	1030x1013x2091	2025	
	CS600	De 40/120 até 480/12.5	1030x1013x2091	2025	
AFS Trinity Power Corporation	M2A	De 50/20 até 100/5	560x636x1704	135	
	M3A	De 100/15 até 300/3	560x636x1704	135	
Beacon Power Corporation	20C1000	2 Kwh	814x458x305	382.5	
Caterpillar	Cat UPS 300	De 60/50 até 240/13	1488x865x1982	2 484	97
	Cat UPS 250I	De 50/60 até 200/15	1488x865x1982	2 586	96.4
	Cat UPS 250IE	De 50/60 até 200/15	3226x865x1982(+452)	3280	96.4
	Cat UPS 500	De 100/60 até 400/15	4318x865x1982(+452)	5322	96.4
	Cat UPS 750	De 150/60 até 600/15	5410x865x1982(+452)	7364	96.4
Flywheel Energy System Inc.	ACES	250 Wh		135	
		1.1 kWh		65	
Optimal Systems		1.8 kWh		54	90
Precise Power Corporation	Roesel Motor – Generator	300kVA/15			85 – 90
Tribology Systems, Inc.	FLB-E	150 Wh			
	FLB-A	500 Wh			
	FLB-B (em desenvolvimento)	2.5 kWh			
	FLB-C (em desenvolvimento)	25 kWh			
	FLB-D (em desenvolvimento)	200 kWh			
Ureco Technologies	UPT Flywheel	De 50/150 até 100/30	600x600x1500	1200	92
Wissenschaftlich-Technisches Zentrum		De 0.3 até 6 kWh			

Quadro 9.5 – Resumo das principais características de alguns modelos de bateria electro-mecânica (3)

Fabricante / distribuidor	Tipo	Energia específica (Wh/kg)	Densidade de energia (Wh/l)	Velocidade máxima (m/s)
Flywheel System Inc.	Mk 1	75	60	850
	Mk 2	85	68	907
	Mk 3	93	83	970
	Mk 4	97	91	1 000
Optimal Systems	Phase II	83		

10 - Frio



10.1 – Descrição das tecnologias

Em muitos países de clima temperado, durante o Verão, a grande parte da procura eléctrica tem lugar a meio da tarde, quando a electricidade é mais cara. Por outro lado, alguns edifícios de escritórios têm uma procura três vezes superior à média do dia durante as horas de ponta.

A integração de sistemas de armazenamento com sistemas de produção de frio permite tirar partido dos tarifários de electricidade mais baratos (durante a noite). O frio produzido durante a noite é armazenado e utilizado durante o dia quando existe o pico das necessidades de arrefecimento ambiente.

Assim, os sistemas de armazenamento de frio apresentam como principais vantagens a redução da factura energética associada ao consumo de sistemas de climatização, e também a redução da potência máxima necessária ao sistema de climatização.

Por outro lado, as temperaturas mais reduzidas que ocorrem durante a noite permitem uma maior eficiência energética dos equipamentos de arrefecimento. O aumento da eficiência é também acentuado pelo facto da maioria dos componentes (tais como bombas hidráulicas) serem dimensionados para a produção máxima dos chillers.

Existem dois **tipos principais de sistemas de armazenamento de frio**:

- Os sistemas de armazenamento completos: fornecem todo o frio necessário durante os picos de consumo, enquanto que os restantes sistemas de produção de frio são desligados. Durante o resto do dia, o sistema de base produz mais frio do que é necessário, do qual uma parte é armazenada;
- Os sistemas de armazenamento parciais: um ou vários chillers funcionam durante todo o dia, sendo complementados pelo sistema de armazenamento de frio durante os picos de consumo. Durante o resto do dia, parte da produção dos chillers é armazenada.

A transferência do consumo de energia do dia para noite no caso dos sistemas de armazenamento completo permite poupanças significativas. No entanto, a potência máxima dos sistemas de arrefecimento e de armazenamento deve ser superior ao caso em que se utilizam sistemas de armazenamento parcial.

Todos os sistemas de armazenamento de frio são baseados em três princípios: a mudança de fase, a reacção química e o calor sensível contido na mudança de temperatura do meio material que armazena o frio.

- **A mudança de fase**: são sistemas que funcionam com base no calor latente de fusão, necessário para que o meio mude de fase (líquido-sólido) a uma temperatura constante. O meio normalmente utilizado é a água.
- **A reacção química**: são sistemas onde o meio necessita de calor para se transformar de solução em composto. A energia é armazenada nas estruturas das moléculas do composto.
- **O armazenamento do calor sensível**: sistemas em que é retirado calor ao meio, sem mudança de fase, apenas por redução da temperatura. Um metro cúbico de água pode armazenar 18 Wh de frio por cada redução de temperatura de 0,5°C.

Todos os materiais têm a capacidade de armazenar calor ou frio, mas apenas alguns reúnem todas as características adequadas (custo, viabilidade, densidade, etc.). O meio mais utilizado é certamente a água/gelo. O gelo apresenta uma das maiores densidades dos materiais de armazenamento de frio, e tem como grande vantagem provir de um material muito abundante: a água. Os sistemas de gelo são muito eficientes em aplicações de capacidade reduzida. As desvantagens destes sistemas consistem na necessidade de equipamento específico, no facto de ter um consumo de energia superior e uma vida útil inferior a outros equipamentos concorrentes.

10.1.1 - Os sistemas com gelo típicos

Os sistemas de armazenamento de gelo são os melhores para sistemas de pequena dimensão. Os principais tipos de máquinas utilizadas são:

- ✓ **Sistema esmagador de gelo:** sistema semelhante às máquinas de produção de gelo dos hotéis, dos restaurantes ou dos hospitais. A forma mais usada é a produção de gelo em placas que se descongelam para permitir a passagem do gelo para o contentor. A grande superfície das placas permite ao sistema funcionar com uma temperatura regular, enquanto que o movimento constante do gelo permite diminuir o factor de isolamento térmico. Estas características permitem obter consumo de energia relativamente reduzido durante a produção de gelo.
- ✓ **Sistema de gelo em rolo:** sistema composto por tubos mergulhados em água com a função de permutar o calor. Tipicamente, o fluído no interior dos tubos é um refrigerante ou água salgada. Com a formação de gelo nos tubos, a eficiência do sistema é reduzida devido ao facto de o gelo formar uma barreira isolante. Para ultrapassar este problema, a temperatura de funcionamento do sistema de refrigeração é reduzida.
- ✓ **Sistema de gelo com água salgada:** mesmo princípio que os sistemas com gelo em rolo, mas neste caso o fluído é etileno-glicol e água ou outro tipo de “água salgada”. O uso de água salgada permite a utilização de chillers standard e não apresenta os problemas dos sistemas com gelo em rolo pois a temperatura é mais controlada. A desvantagem deste sistema reside no facto de serem necessários permutadores de calor suplementares entre o chiller e a água salgada e entre a água salgada e o gelo armazenado.
- ✓ **Sistema de encapsulamento de gelo:** sistema em que água salgada circula num contentor cheio de pequenas bolas com gelo no seu interior. A vantagem reside no facto de existir uma maior superfície de contacto e uma melhor transferência de calor. O contentor pode ser de diversas dimensões e formas, já que as pequenas bolas podem adaptar-se facilmente qualquer contentor.
- ✓ **Sistema de gelo-glicol:** sistema em que o glicol ou uma solução de água salgada circula directamente no recipiente. O cristais de gelo vão flutuar e o glicol vai ficar no fundo e circular dentro do chiller. Este sistema apresenta várias vantagens, mas ainda não se encontra numa fase comercial devido a alguns problemas encontrados durante a fase de desenvolvimento.

Todos estes sistemas de gelo necessitam de mais energia do que um chiller comparável. Um sistema de gelo utiliza, aproximadamente, 30% mais do que a energia consumida por um chiller funcionado à mesma temperatura de condensação.

Outros meios de armazenamento de frio funcionando no princípio de mudança de fase são incluem sal hidratado, parafina e cera sintética e “Clathrates”.

10.1.2 – Os sistemas de armazenamento de água

Os sistemas de armazenamento de água representam os sistemas com a maior vida útil de todos os sistemas de armazenamento. Estes sistemas utilizam apenas componentes com 20 a 30 anos de vida útil. Por outro lado, podem funcionar mais horas por dia mesmo sem reduzir a sua vida útil, desde que o número de arranques e paragens se mantenha.

O recipiente de armazenamento de água praticamente não necessita de manutenção. Por outro lado, estes sistemas podem ser colocados em antigos sistemas sem alterações consequentes.

A maior desvantagem dos sistemas de armazenamento de água reside na necessidade de um maior volume de armazenamento de água em comparação com os outros sistemas. Um sistema de água necessita cerca de três vezes o volume de armazenamento que um sistema de gelo equivalente. Por essa razão, o custo destes sistemas não se apresentam competitivos para sistemas com capacidades inferiores a 1700 kWh. Para sistemas de maior capacidade, o efeito de escala permite reduzir o custo.

Assim, os sistemas de armazenamento de gelo são mais utilizados em sistemas de capacidade reduzidas, enquanto que os sistemas de armazenamento de água são mais utilizados em grandes instalações, conjuntamente a sistemas de cogeração e/ou sistemas urbanos de distribuição de energia.

10.1.3 Aplicações

Os sistemas de armazenamento de frio podem ser economicamente interessantes se for cumprida pelo menos uma das condições seguintes:

- Preços de electricidade relativamente elevados;
- Grande variação do custo da electricidade ao longo do dia;
- Grande variação das necessidades de frio durante o dia;
- Pequena duração dos picos de consumo de frio;
- Picos de consumo pouco frequentes ou cíclicos
- Incapacidade de resposta por parte dos sistemas de arrefecimento existentes durante os picos de consumo.

Em resumo, os benefícios obtidos por um sistema de armazenamento de frio comparativamente aos sistemas sem armazenamento podem traduzir-se por uma redução do custo inicial, do custo de funcionamento e do custo manutenção.