

1924 — A Estação Central Geradora de Massarelos

Manuel Vaz Guedes

FEUP — Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto

Sumário — Neste último século foram executadas em Portugal obras de Engenharia Electrotécnica que constituem marcos históricos importantes. Para ser possível uma análise dos conceitos e dos métodos marcantes na História da Electrotecnia torna-se necessário uma recolha dos elementos informativos que ainda existem sobre essas diversas obras e que estão registados em muitos e díspares documentos. Depois, e quando essa recolha for significativa, será possível proceder à análise fundamentada das ideias e dos métodos e será possível elaborar sínteses esclarecedoras e formativas.

No âmbito da produção da energia eléctrica em Portugal nas primeiras décadas deste século, a *Estação Central Geradora de Massarelos* é um empreendimento significativo, apesar de estar essencialmente projectada para a alimentação em energia da rede de carros eléctricos da Companhia Carris de Ferro do Porto. Neste artigo é descrita em pormenor a sua instalação, são apresentadas as suas máquinas e são descritos alguns aspectos do seu funcionamento em 1924.

1. Introdução

O desenvolvimento da Engenharia Electrotécnica em Portugal durante mais de um século deixou vários marcos, que devem ser estudados com os métodos próprios da História. Esses métodos, sendo essencialmente baseados na aplicação do raciocínio, procuram obter uma explicação, uma

relação e uma sistematização dos factos que já não podem ser observados. Mas, tratando-se de factos científicos ou de factos técnicos a aplicação dos métodos próprios da História tem de ser feita com a precisão e a clareza dadas pelo método científico, de que quotidianamente o Engenheiro se serve “para adaptar o mundo exterior aos interesses dos homens e das comunidades” [i].

Desse trabalho de investigação poderão surgir trechos de uma História da Electrotecnia que serão esclarecedores das implicações sociais de tantos trabalhos de engenharia que ocorreram em Portugal, nos finais do século XIX e durante este século XX, e com o valor inerente à particular área científica da Engenharia Electrotécnica em estudo. Tratando-se de factos técnicos, e para que o trabalho de investigação seja útil, é necessário que se cinja a um pequeno número de factos referentes a um intervalo limitado de tempo [ii]; porque os factos técnicos têm uma interligação muito grande e a sua evolução pode ser, em determinadas épocas, muito rápida.

Neste ano de 1995, em que no mês de Setembro decorreu o centenário da primeira electrificação de uma linha de transportes públicos urbanos — a linha da Restauração na cidade do Porto [iii] — ao pretender-se analisar a evolução da tracção eléctrica urbana e, particularmente, a resolução do problema da produção da energia eléctrica necessária ao accionamento dos carros eléctricos, verifica-se que a *Estação Central Geradora de Massarelos* da Companhia Carris de Ferro do Porto constitui um marco histórico: um facto histórico

capaz de racionalmente explicar a inserção de um sistema eléctrico numa cidade e numa época com um contexto social e técnico particular. Por isso, o décimo ano de funcionamento desta central termoelectrica é significativo no contexto social — época entre duas guerras mundiais, de restrição económica (depressão económica), de desenvolvimento da indústria e dos serviços na cidade do Porto — e no contexto da Electrotecnia — conhecimento completo dos fenómenos das máquinas eléctricas de corrente contínua, início da aplicação das turbo-máquinas de corrente alternada, proximidade do fim da aplicação das máquinas eléctricas transformadoras rotativas, conhecimento da tecnologia do transporte da energia eléctrica, início do desenvolvimento da aparelhagem auxiliar de condução duma central.

A electrificação de uma linha, ou de uma rede de linhas, de transporte público de passageiros e de mercadorias, como a que em 1895 servia a cidade do Porto e os arredores e onde, até aí, era utilizada a tracção animal e a vapor, traduz-se pela necessidade de produção da energia eléctrica a consumir no accionamento dos veículos. Desde a electrificação da primeira linha e até ao fim do ano de 1913 a energia eléctrica foi produzida pela Companhia proprietária do direito de exploração dos transportes públicos — a Companhia Carris de Ferro do Porto — na sua Central da Arrábida.

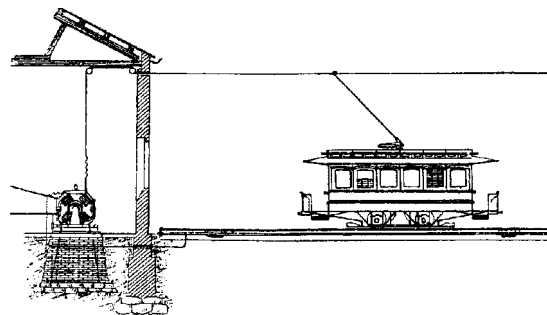
Mas o aumento do tráfego, a previsão do seu crescimento, e o conseqüente aumento da energia consumida, assim como o envelhecimento da instalação térmica da primeira central obrigou à construção de uma nova central geradora. No momento dessa decisão (1909) a rede eléctrica que servia a cidade do Porto era alimentada pela Central do Ouro, que tinha uma pequena capacidade (3250 kVA) e um funcionamento intermitente. Apesar disso, em 1911 [4] foi estabelecida uma ligação eléctrica provisória com aquela estação central geradora da Sociedade de Energia Eléctrica do Porto. Mesmo quando, a partir de 1922, a alimentação em energia eléctrica da cidade do Porto passou a ser feita, também, pela Central do Lindoso não era possível aos Serviços Municipais de Gás e Electricidade assegurarem um fornecimento de energia eléctrica capaz de manter um funcionamento aceitável da rede de carros eléctricos.

Por isso, em 1909 foi projectada uma nova central — a Estação Central Geradora de Massarelos — que em 1912, face ao aumento do tráfego, se verificou ser necessário completar [5] e que acabou por ser inaugurada no início do ano de 1915. Esta nova central alimentou a rede crescente de carros eléctricos e ainda, em situações esporádicas, algumas instalações particulares de iluminação e de força motriz [6]. Na década de trinta esta central seria ampliada em capacidade e renovado o tipo

de máquinas eléctricas; isso permitiu que a central também desempenhasse um importante papel de complementaridade durante os meses de Verão na interconexão do sistema produtor Lindoso-Varosa-Massarelos [7].

2. Energia Eléctrica para a Companhia Carris de Ferro do Porto

Na electrificação por condutor aéreo de uma linha de transporte público de passageiros ou de mercadorias, os veículos são accionados por motores eléctricos, que necessitam de ser alimentados em energia eléctrica, que os motores do veículo converterão em energia mecânica de accionamento. A energia eléctrica é produzida numa estação central e conduzida até ao veículo por um condutor em cobre isolado da terra — a *linha* — servindo os carris de condutor eléctrico de fecho do circuito — o *retorno* — depois de assegurada a sua continuidade eléctrica entre os tramos consecutivos de carril através de ligações de cobre.



Desta forma cria-se um circuito eléctrico com características especiais que condicionam o funcionamento da central produtora de energia. A primeira condicionante é que por razões históricas que se relacionam com a forma de produção de energia na altura do aparecimento dos primeiras linhas comerciais de carros eléctricos (1887) e pela utilização exclusiva do motor de corrente contínua nessa época, a energia eléctrica teria de chegar ao veículo sob a forma de corrente contínua.

Devido aos diferentes estados de accionamento dos carros eléctricos, motivados pelos acidentes do percurso (rampas, curvas, estado da via), e pela entrada (seguida de um arranque) e saída dos passageiros (precedida de uma frenagem), a variação da carga da central é muito grande, e as variações podem ocorrer em intervalos de tempo curtos [8].

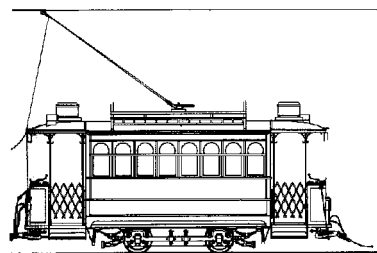
Devido à existência de várias linhas de carros eléctricos o circuito eléctrico formado por toda a rede era complicado. Existia uma secção central, alimentada em corrente contínua directamente da Central de Massarelos, formando uma rede radial de oito secções, com centro na Praça da Liberdade.

Também, o aspecto especial, inerente à Tracção Eléctrica, de o circuito eléctrico de carga ter as suas características variáveis com a variação do comprimento imposta pela deslocação do carro eléctrico ao longo da linha de contacto provocam dificuldades na manutenção do valor da tensão nominal dos motores em todos os pontos da rede. Existe, por isso, a necessidade de recorrer a alimentadores (“feeders”) para assegurar valores de tensão nos pontos da rede mais afastados aproximadamente iguais aos valores de tensão nos pontos mais próximos da central.

Na rede da Companhia Carris de Ferro do Porto existiam várias secções, alimentadas a partir de subestações de transformação de corrente alternada em corrente contínua — Castelo do Queijo (nº 1), Telheira (nº 2) e Contumil (nº 3) — que serviam a periferia e os arredores da cidade. A corrente alternada produzida na central de Massarelos (directamente ou por transformação) era transportada por cabo até à subestação onde era convertida em corrente contínua e distribuída pelas linhas na zona servida pela subestação.

Existiam ainda problemas inerentes à diferente legislação aplicável e que condicionam alguns aspectos da central produtora. Para além da tensão gerada não poder ter uma ondulação apreciável [9], o que obrigava a que a produção de energia fosse em corrente contínua, era obrigatório que a queda de tensão no espaço no circuito de retorno, entre o ponto mais distante e o mais próximo da estação geradora, fosse inferior a 7 V [10], o que condicionava os sistemas de medida de grandezas eléctricas.

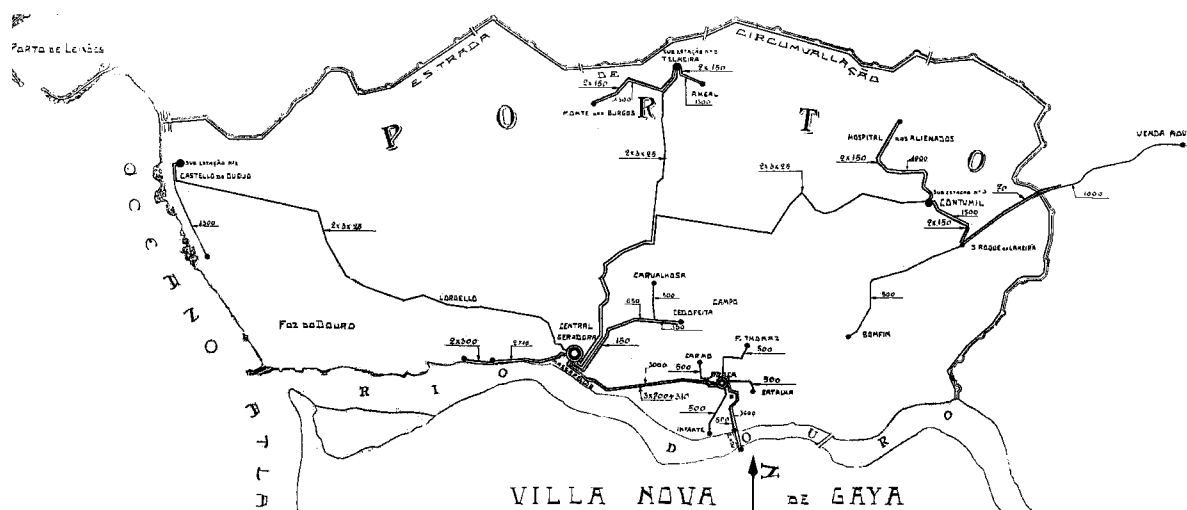
Cada carro eléctrico possuía dois motores eléctricos, com uma potência nominal unitária de 29,4 kW, circulando diariamente em 1923 cerca de 95 carros [11].



Repetia-se, assim, uma situação igual à de 1912 [9], em que para igual número de carros diários se previa uma potência máxima de alimentação de 2,271 MW (= (1400 + 2730) A x 550 V). Resta ainda considerar as outras necessidades de energia eléctrica para os serviços auxiliares da central e da rede: bombagem, ventilação, força motriz e iluminação.

Estas eram as condicionantes das necessidades em energia eléctrica, e para as satisfazer existiam já na altura do projecto da central, em 1909 e 1912, conhecimentos e maquinaria capazes de permitirem uma satisfação cabal dessas condicionantes.

- Como os veículos tinham de ser alimentados em corrente contínua e grande parte da linha era alimentada directamente da central; como existia uma grande experiência de manutenção local e de condução de máquinas de corrente contínua; como existia nessa época um grande conhecimento dos problemas de funcionamento das máquinas de corrente contínua; e como se pretendia aproveitar algumas máquinas eléctricas geradoras da primitiva Central da Arrábida, na nova central seria produzida energia eléctrica em corrente contínua.
- Como já era suficientemente conhecido que o transporte de energia eléctrica era mais económico em corrente alternada e que as máquinas geradoras de corrente alternada estavam já em aplicação regular, na nova central existiriam máquinas geradoras de corrente alternada.
- O número de máquinas existentes permitiria sempre um funcionamento escalonado, com



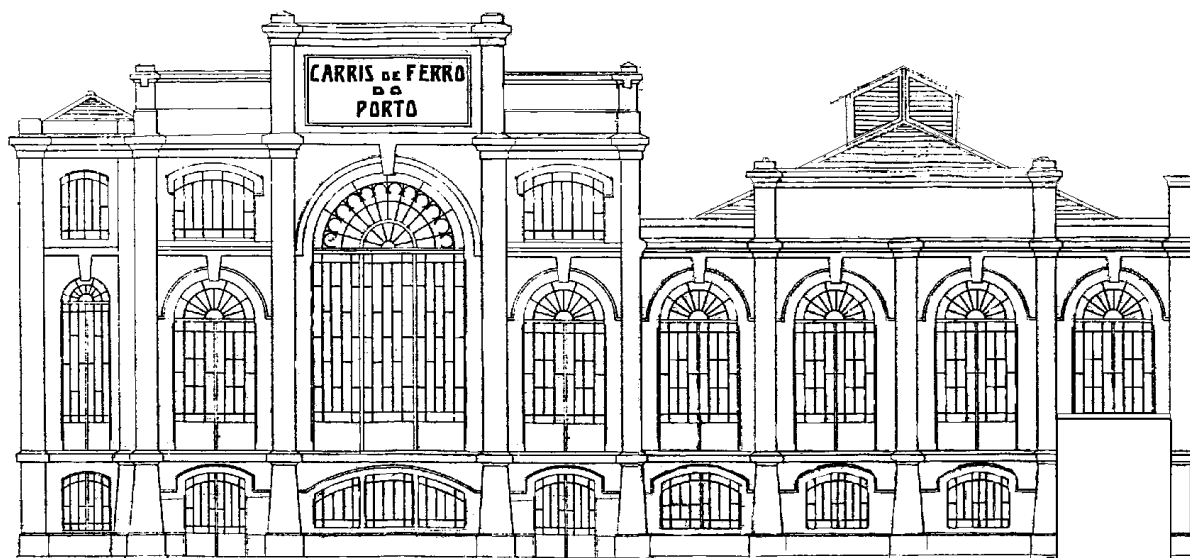
unidades em serviço e outras unidades paradas, assegurando sempre a produção de energia necessária ao funcionamento da rede, e mantendo máquinas de reserva para o caso de uma avaria.

- Nessa época era possível promover a transformação de corrente contínua em corrente alternada polifásica e de corrente alternada polifásica em corrente contínua através de uma máquina transformadora rotativa — *a comutatriz*; na nova central considerou-se a aplicação dessa máquina.

- A central geradora seria termoelétrica, e acontecimentos mundiais, como a Guerra de 1914 a 1918, e a situação económica do País, iriam obrigar à utilização exclusiva dos carvões de S. Pedro da Cova.

- Embora a energia eléctrica produzida na central se destinasse fundamentalmente à alimentação do circuito de tracção eléctrica, foi vendida energia para fins particulares de iluminação e de força motriz, devido à má qualidade do serviço de produção e de distribuição de energia eléctrica da cidade do Porto [12].

Um bom projecto inicial desta Central Termoelétrica e uma exploração cuidada durante a sua primeira década, permitiriam o cumprimento integral dos seus objectivos nas condições em que se poderia encontrar em 1924[13].



3.1 O Edifício da Central

O edifício da Central foi construído num terreno [16] da Companhia Carris de Ferro do Porto, situado na Alameda de Massarelos frente ao rio Douro; era limitado a Sul por essa alameda, a Leste pela Rua de D. Pedro V, a Oeste pela Rua da Boa Viagem e a Norte por terrenos particulares [17]. A parte do terreno confinante com a R. de D. Pedro V estava já ocupada por dois corpos de edifício para o depósito de carros eléctricos.

O edifício principal da central geradora ficou

3. A Central Termoelétrica de Massarelos

Esta estação central geradora de energia eléctrica para a rede de carros eléctricos da Companhia Carris de Ferro do Porto foi projectada pelo Eng. Luís Couto dos Santos em 1909, o projecto de construção civil foi submetido à Câmara Municipal do Porto em 23 de Junho de 1910 [14], encontrava-se na fase de construção dos edifícios em 1912, quando se verificou que o tráfego tinha aumentado de tal forma que se impunha já a sua construção para a potência máxima calculada em 1909. O projecto de 1909 foi, então, complementado [5] pelo seu autor.

A Estação Central Geradora de Massarelos produziu por dia, em 1924, 26 MWh a 30 MWh de energia eléctrica [15].



dividido longitudinalmente em dois corpos paralelos constituindo um corpo oriental a sala dos geradores de vapor e o corpo ocidental a sala das máquinas [18]. A sala das máquinas é um amplo edifício com 95 m de comprimento e 16,5 m de largura. Em altura possui dois pavimentos inferiores ao pavimento principal (onde estão apoiadas as máquinas, e que está a 3,5 m de altura do solo circundante) e tem uma altura útil acima do pavimento principal de cerca de 10,5 m.

A Ponte a sala das máquinas está ligada a uma ala, onde se encontra o quadro eléctrico,

distribuindo-se pelo andar principal e por dois andares em altura, com o aspecto monumental próprio dos quadros eléctricos dessa época (como ainda se pode constatar na actualidade).

Para libertação do fumo resultante da combustão do carvão, na parte de trás dos edifícios da central existia uma chaminé de tiragem natural, em tijolo, com uma altura de 48 m acima do terreno e um diâmetro de 3,2 m de base e 2,4 m de vértice.

O terreno adjacente à localização da Central tem ricos mananciais de água com boa qualidade.

3.2 A Produção de Energia Mecânica

Na Estação Central Geradora de Massarelos a energia mecânica era produzida por intermédio de máquinas a vapor. Aquecendo a água em geradores de vapor, obtinha-se vapor a uma pressão e temperatura própria para accionar máquinas térmicas de pistão [19]. O vapor necessário ao funcionamento dos motores térmicos era produzido em 20 geradores de vapor do tipo água tubulares [5], a que, mais tarde, se acrescentaram outros seis.

Geradores de Vapor

Os geradores de vapor eram da casa De Nayer & Cie. de Bruxelas. Eram formados por 10 x 8 tubos de aço de 10 cm de diâmetro e com 5,5 m de comprimento, apresentando uma superfície de aquecimento de 125 m² e 3 m² de superfície de grelha. O corpo cilíndrico media 1 m de diâmetro e 6,7 m de comprimento. A pressão de timbre era de 11 kg e a pressão de prova de 17 kg. A temperatura máxima de aquecimento era de 300 °C.

O volume de água era de 6,93 m³ e o de vapor de 2,86 m³. O peso total da caldeira era aproximadamente de 21 ton. Tinham economisadores de Green inseridos na conduta de fumos; os economisadores eram formados por 240 tubos de 116 mm de diâmetro e 2,75 m de altura.

Em 1924 entraram em funcionamento mais geradores de vapor com 250 m² de superfície de aquecimento e com 5,5 m² de grelha.

Os geradores de vapor tinham sobreaquecedores de vapor tubulares, com 50 m² de superfície, que podiam elevar a temperatura do vapor até 350°.

Cada gerador de vapor produzia 2200 kg de vapor por hora, e tinha um rendimento médio de 49,5%.

Os geradores de vapor encontravam-se no corpo situado a Nascente do edifício da central, instalados em grupos de dois, sendo as fornalhas alimentadas em carvão transportado por zorras e vagões de material circulante vulgar que se podiam deslocar até junto dos alimentadores.

A alimentação da água era forçada por bombagem (electrobomba ou bomba a vapor), e feita a partir da condensação do vapor depois da sua passagem pelos motores térmicos, e depois de purificada e com as perdas compensadas pela água dos mananciais existentes no terreno da estação. A água de arrefecimento para a condensação do vapor era bombeada da rio Douro a partir de uma

central de bombagem situado no lugar do Bicalho.

Os gases da combustão saíam por uma ampla galeria-conduta das fornalhas para a chaminé.

O combustível utilizado era carvão — antracite — o que em época de escassez de matérias primas e de alta de preços criou alguns problemas, que acabaram por ser resolvidos pela utilização exclusiva dos carvões de S. Pedro da Cova [20], o que condicionou as compras futuras dos geradores de vapor (caldeiras) da central e obrigou à resolução de muitos problemas técnicos durante a fase activa da central [21].

Os Carvões

Os recursos de Portugal em carvões são fracos e os carvões existentes sempre foram considerados como combustível pobre. Na bacia carbonífera do Douro os carvões — *antracites* — tinham uma composição bastante variável com elevada percentagem de cinzas e uma notável percentagem de enxofre.

Os valores médios percentuais (*os piores*) para os carvões de S. Pedro da Cova eram:

Humidade – 3,9% (4%)	Matérias Voláteis – 3,5% (5%)	Carbono – 65,1% (51%)
Cinzas – 27,5% (40%)		

O poder calorífico era de cerca de 5800 Cal (4670 Cal) (fórmula de Goutal) [22]

No carvão de importação (inglês) verifica-se que no tipo Cardiff os valores médios eram de,

Carbono – 75% a 85%	Matérias Voláteis – 10% a 15%
---------------------	-------------------------------

e o poder calorífico desse carvão de melhor qualidade era de cerca de 8800 Cal (fórmula de Goutal)

Como por razões económicas não era possível a importação de carvão, houve que resolver os problemas técnicos criados pela queima de carvões nacionais.

A queima de carvão de antracite exige fortes tiragens de ar, porque exige um intervalo de tempo grande para ser queimada; para se obter uma libertação de calor suficiente torna-se necessário queimar grandes volumes de antracite, o que exige uma grande quantidade de ar necessário à combustão. Para solucionar o

problema recorria-se à insuflação de ar sobre a grelha de queima ou à aspiração dos gases de combustão [23], e a chaminés de elevada tiragem (com uma altura de 40 m a 45 m).

A possibilidade de utilização directa dos carvões de S. Pedro da Cova diminuiu o custo do seu transportes que, depois da extensão da linha nº 10/ (linha da Praça a S. Pedro da Cova) em 1918, passou a ser feito pelo material de transporte de mercadorias da Companhia Carris de Ferro do Porto: zorras e atrelados.

O consumo horário normal de carvão nesta central tinha um valor próximo das 5 ton.

As cinzas — *escória* — resultante da combustão serviu como material de aterro em vários locais: Gondarém (1917), Escola Infante D. Henrique (1922) e Faculdade de Engenharia (1927).

O vapor seguia dos geradores para os colectores gerais em tubos de aço laminado; as canalizações de vapor eram providas com curvas de dilatação.

Na sala das máquinas estavam cinco motores

térmicos iguais; dos quais três accionavam directamente geradores de corrente contínua e os outros dois accionavam directamente alternadores [24].

Motores Térmicos de Pistão

Estas máquinas foram construídas pela Sociéte Anonyme des Ateliers de Construction H. Bollinckx de Bruxelas, Bélgica [25].

Eram motores de vapor do tipo horizontal, compound, com dois cilindros paralelos, com condensação central por superfície. Cada unidade tinha uma potência efectiva de 1 103 kW.

O diâmetro dos cilindros era de 710 mm e 1300 mm; o curso dos êmbolos era de 1150 mm; velocidade de rotação era de 107 rot/min.

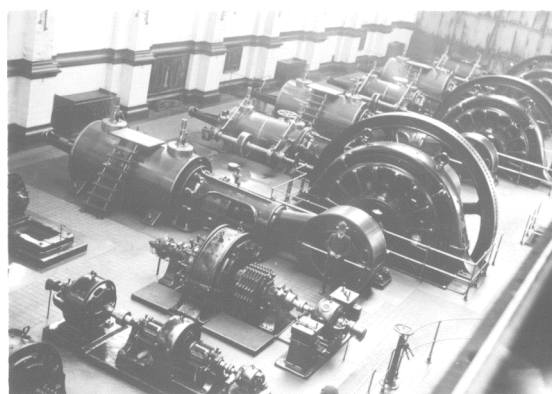
O peso aproximado de cada motor era de 110 ton.

Cada motor estava acoplado a um volante de inércia com um peso aproximado de 25 ton, e 4 m ou 5 m de diâmetro.

3.3 Máquinas Eléctricas Geradoras

Na Estação Central Geradora de Massarelos era produzida energia eléctrica sob a forma de corrente contínua e de corrente alternada polifásica, existindo a possibilidade, de através de máquinas eléctricas rotativas, converter a corrente contínua em corrente alternada ou a corrente alternada em corrente contínua. Existiam, assim, várias formas de exploração da central com os diversos tipos de máquinas geradoras activas, ou em reserva.

As máquinas eléctricas principais foram fabricadas pela firma Siemens-Schuckert Werker de Berlim [26].



Geradores de Corrente Contínua

Eram três máquinas eléctricas rotativas iguais com as seguintes características nominais:

Potência — 1 050 kW

Tensão — 550 V

Velocidade — 107 rot/min

esta máquina podia funcionar com uma sobrecarga de 25% (1 313 kW) durante 30 min.

Circuito do indutor — era constituído por 16 pólos ($2p = 16$) magnéticos principais e igual número de pólos auxiliares de comutação. Os pólos indutores tinham o núcleo maciço e a expansão polar folheada, enquanto que os pólos auxiliares eram completamente maciços. Os pólos eram fixos à carcaça por dois parafusos. A excitação da máquina era do tipo composto, mas podia funcionar apenas com excitação derivação. O enrolamento das bobinas do circuito indutor em derivação eram em fio de cobre, e o enrolamento do circuito indutor série e dos pólos auxiliares era em barra de cobre de secção rectangular.

Circuito do induzido — o enrolamento do circuito induzido distribuía-se a duas camadas em tambor por 228 ranhuras. O enrolamento era ondulado, com secções formadas por bobinas de três espiras e cada espira por duas barras; o número total de condutores é de 1368 ($Z = 2 \cdot 3 \cdot 228$). Como o enrolamento é ondulado múltiplo o número de vias é igual ao dobro da multiplicidade ($2a = 2m = 8$), os passos do enrolamento eram: passo resultante $y = (1368 \pm 8)/8 = 170$ ($y = (Z \pm 2a)/p$); passo de bobina é igual ao passo de ligação $y_1 = y_2 = 85$, verificando-se que $y = y_1 + y_2$. Existiam ligações equipotenciais ligando os condutores que contactavam e com lâminas do colector distanciadas de $y_k = 684/4$ ($y_k = nl/a$) para evitar valores diferentes

dos previstos para a diferença de potencial entre lâminas vizinhas do colectór.

Colector — eram um colector dividido em duas partes com um elevado número de lâminas ($n_l = 684$) e, por isso, com um grande diâmetro (1 m). As lâminas de cobre tinham uma espessura de 7 mm e estavam isoladas por folhas de mica com 1,2 mm de espessura. Sobre o colector assentam 16 linhas com 12 escovas, estando 6 sobre cada parte do colector.

Orgãos mecânicos — a carcaça era maciça e estava dividida em duas partes, podendo separar-se a superior por elevação com o guindaste da ponte rolante e ficando a inferior apoiada no pavimento da central. Os pólos magnéticos eram postiços e estavam fixos à carcaça por dois parafusos. O circuito magnético rotórico era folheado em feixes separados por canais de ventilação sustentado por oito braços maciços radiais que o ligavam ao cubo fixo sobre o veio; possuía ranhuras abertas onde se alojavam os condutores rectangulares seguros por réguas de madeira, sendo o conjunto cintado.

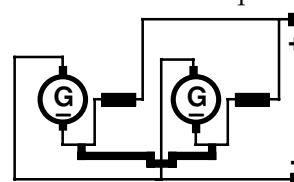
O veio sustentava um pesado volante (15 ton) com 4 m de diâmetro e 45 cm de largura na periferia, e estava directamente ligado ao motor térmico.

O peso aproximado de cada gerador era de 33 ton.

Ligações — as ligações da máquina ao barramento era feita por cabos colocados por debaixo do pavimento.

Como as máquinas funcionavam com excitação composta, e trabalhavam simultaneamente em paralelo com o barramento de corrente contínua de 550 V, existia uma barra de equilibragem que ligava os respectivos enrolamentos de excitação do tipo série; conseguia-se, assim, que as correntes de excitação se repartissem igualmente pelas duas máquinas, independentemente das respectivas cargas, e sem que ocorresse a inversão do

funcionamento de uma das máquinas.



Geradores de Corrente Alternada

Eram duas máquinas eléctricas rotativas iguais e com as seguintes características nominais:

Potência — 1055 kVA

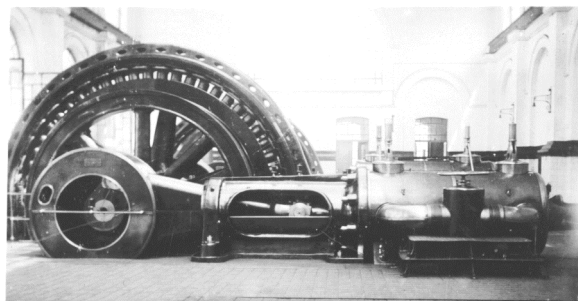
Tensão — 5 kV

Velocidade — 107 rot/min

Trifásico

Frequência — 50 Hz

$\cos \varphi$ — 1 a 0,95



Circuito do indutor — o indutor era móvel com 56 pólos indutores ($2p = 56$). Os pólos indutores eram folheados e tinham expansões polares de entreferro variável. O enrolamento indutor era feito com fita de cobre colocada em cutelo para aumentar a sua rigidez mecânica. O circuito indutor era alimentado em corrente contínua a 110 V sendo a ligação feita por dois conjuntos colector de anel-escova.

Circuito do induzido — era constituído por bobinas rectangulares alojadas nas 336 ranhuras, formando um enrolamento distribuído trifásico ($m = 3$) a uma camada com duas ranhuras por pólo e por fase ($b' = 336/(56 \cdot 3)$; $b' = b/2p \cdot m$). As bobinas são constituídas por dois elementos formando uma bobina concêntrica com passo médio igual ($\tau_m = (5+7)/2 = 6$) ao passo diametral $\tau_p = 336/56 = 6$ ($\tau_p = b/2 \cdot p$).

Orgãos mecânicos — o circuito induzido estava alojado em ranhuras existentes na parte fixa do alternador, que envolvia todo a parte rotórica. A parte rotórica era constituída por uma roda polar ligada ao cubo por oito braços maciços. O veio sustentava a parte rotórica, um pesado volante com 5 m de diâmetro, e estava directamente ligado ao motor térmico. A parte rotórica tinha um momento de giração de 340 ton·m². O peso aproximado da máquina era de 37 ton.

Ligações — o alternador estava ligado ao barramento de 5 kV através de um conjunto de aparelhagem de protecção e medida que estava na respectiva célula (nº 15 e nº 16) do quadro geral.

Para alimentação do circuito de excitação dos alternadores existia um barramento próprio para

excitação alimentado por sistemas geradores eléctricos dedicados.

3.4 Máquinas Eléctricas Transformadoras

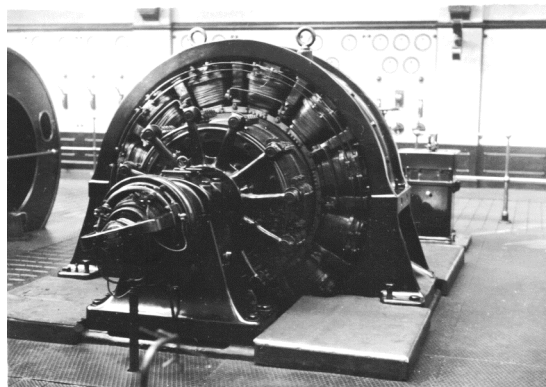
Nesta central geradora de energia eléctrica existiam dois tipos de máquinas eléctricas

transformadores: máquinas eléctricas rotativas e máquinas eléctricas estáticas.

Máquinas Transformadoras Rotativas — Comutatrizes

Existem duas comutatrizes iguais da marca Siemens-Schuckert Werker [27], com uma potência de 500 kW e as seguintes características:

Parte de corrente contínua —	Tensão — 550 V	Velocidade — 500 rot/min
Parte de corrente alternada (hexafásico) —	Tensão — 407 V	Frequência — 50 Hz



Indutor — tem 12 pólos indutores intercalados por pólos auxiliares de comutação ligados à carcaça. O circuito indutor tem um enrolamento do tipo série, outro do tipo derivação (excitação composta) e um terceiro que era alimentado por uma outra pequena comutatriz — *comutatriz Daniellson* — que estava montada na extremidade do eixo da máquina. Nas expansões polares existem barras de cobre, curto-circuitadas, com funções de amortecedor durante o funcionamento como máquina síncrona.

Induzido — forma um enrolamento ondulado com três secções por bobina. Numa extremidade estão ligadas ao colector de lâminas e na outra extremidade está ligada a um colector de anéis (6).

Colector — do lado de corrente contínua existe um colector de lâminas sobre o qual existem 12 linhas de escovas com 5 escovas cada uma. Do lado de corrente alternada existem seis anéis de cobre sobre os quais atritam escovas de cobre.

Ligações — o lado de corrente contínua está ligado, por cabo, ao barramento de corrente contínua, enquanto que a parte de corrente alternada está ligada por seis cabos aos terminais de um transformador de número de fases hexafásico-trifásico.

A comutatriz é levada até à velocidade de sincronismo por um motor de indução trifásico com o rotor bobinado: tensão — 416 V, velocidade 575 rot/min enrolamento do estator e do rotor em triângulo, que é alimentado a partir de um transformador situado no andar inferior. As

ligeiras alterações de velocidade necessárias ao estabelecimento do sincronismo da comutatriz com a rede são feitas promovendo a variação da resistência rotórica com o auxílio do reóstato de arranque do motor de indução.

Comutatriz Daniellson

Tratava-se de um rectificador rotativo; como comutatriz não possuía circuito indutor. Aproveitando a velocidade de sincronismo da comutatriz principal a cujo veio estava ligada promovia a rectificação da corrente alternada com que era alimentado o enrolamento rotórico através do colector de anéis. Esta pequena comutatriz destinava-se a aumentar a excitação da comutatriz principal, compensando, assim, a queda de tensão em carga dessa comutatriz que era detectada num enrolamento auxiliar trifásico do transformador de número de fases; tinha 1 152 W de potência e as seguintes características:

Parte de corrente contínua —	Tensão — 36 V	Velocidade — 500 rot/min
Parte de corrente alternada (trifásico) —	Tensão — 26 V	Frequência — 50 Hz

Como nesta central geradora os alternadores alimentavam directamente o barramento de corrente alternada (5 kV), apenas se tornavam necessário transformadores estáticos para estabelecer a ligação entre as comutatrizes e aquele

barramento. Estes dois transformadores além de alterarem o valor da amplitude da tensão promoviam também a alteração do número de fases do sistema polifásico: hexafásico-trifásico.

Transformador Estático

Trata-se de um transformador de três enrolamentos; estrela sem neutro acessível; dupla estrela; e estrela sem neutro. Os enrolamentos principais promovem a transformação de fases e a alteração da amplitude da tensão, enquanto que o terceiro enrolamento detecta a diferença de tensão no enrolamento de alta tensão provocada pela queda de tensão de carga da comutatriz.

As características do transformador são trifásico/hexafásico/trifásico — 5000/407/26 V, 50 Hz.

O enrolamento de alta tensão possui uma tomada, que introduz as espiras necessárias ao funcionamento do enrolamento terciário.

Três fases do secundário do transformador alimentavam em tensão o motor de indução trifásico de arranque da comutatriz principal.

Não existiam transformadores estáticos para alimentar o circuito de iluminação da central porque este circuito era de corrente contínua.

3.5 Máquinas Eléctricas Auxiliares

Na produção de energia eléctrica apenas eram necessárias máquinas eléctricas auxiliares para

alimentar o circuito de excitação dos alternadores. Mas para a central poder funcionar tornava-se necessário que algumas máquinas promovessem a bombagem de água, a ventilação ou simplesmente as condições de alimentação dos circuitos de iluminação.

Máquinas Excitadoras

Existiam dois grupos motor-gerador com máquinas Siemens-Schuckert para fornecer a energia de excitação aos alternadores e a alimentar alguns circuitos auxiliares da central [28]:

Grupo Motor de Indução-Gerador de corrente contínua (nº 1) — era accionado por um motor de indução trifásico com as seguintes características: potência — 85 kW, tensão — 500 V, velocidade — 1465 rot/min. O gerador quadripolar tinha excitação em derivação e pólos auxiliares de comutação, com as características: potência — 60 kW, tensão — 550 V, frequência 50 Hz, velocidade — 1400 rot/min. Tinha um enrolamento imbricado distribuído por 58 ranhuras, tinha um colectador duplo com 116 lâminas e existiam 12 escovas montadas em 6 porta-escovas.

Grupo Motor-Gerador de corrente contínua (nº 2) — era accionado por um motor composto de corrente contínua com as seguintes características: potência — 66,2 kW, tensão — 550 V, velocidade — 1400 rot/min. O gerador quadripolar tinha excitação em derivação e pólos auxiliares de comutação, com as características: potência — 60 kW, tensão — 110 V, velocidade — 1400 rot/min. Tinha um enrolamento imbricado distribuído por 58 ranhuras, tinha um colectador duplo com 116 lâminas e existiam 12 escovas montadas em 6 porta-escovas.

O motor de indução do grupo de excitação nº 1 era alimentado por um transformador abaixador de 5000/500 V, estrela-estrela. O circuito possuía como aparelhagem de corte e de protecção um seccionador e um disjuntor automático.

Para assegurar o funcionamento da central em caso de paragem das máquinas eléctricas geradoras — luz e excitação das máquinas — existia uma *bateria de acumuladores* constituída por 60 grupos de dois elementos (em paralelo) em duas filas de 30 [29], e com 540 A/h. Assegurava uma alimentação à tensão de 110 V. Esta bateria estava sempre em paralelo com a excitatriz em funcionamento no momento.

Devido às disposições regulamentares sobre a queda de tensão no circuito de retorno, existiu uma máquina — um *hipotensor* — destinado a diminuir o valor dessa queda de tensão. Tratava-se de uma máquina rotativa de corrente contínua com a corrente de excitação proporcional à corrente de carga na linha de contacto; a força electromotriz gerada subtrai-se à queda de tensão no circuito de retorno sendo proporcional a essa

queda de tensão. Existia uma máquina eléctrica rotativa de corrente contínua e de construção especial prevista para funcionar como hipotensor, mas em 1924 estava fora de serviço.

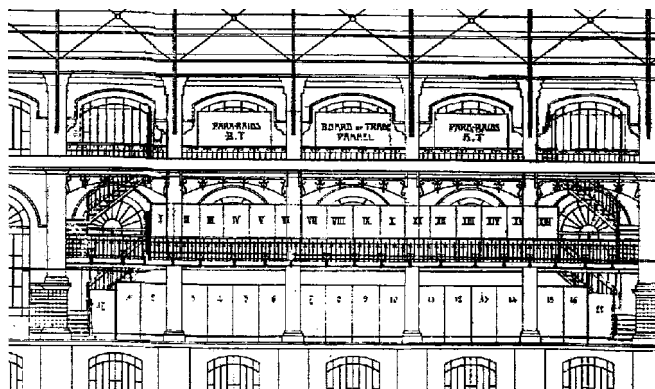
Quando, em 1912, se pretendeu completar o projecto da central fez-se a alteração da secção dos cabos dos alimentadores da rede. Desta forma diminuíram-se as quedas de tensão nos pontos afastados da rede e tornou-se desnecessária a utilização de um *hipertensor*, [5].

Na concepção inicial do projecto desta central foi previsto que o problema da variação brusca da carga eléctrica, devida aos diversos estados de accionamento dos carros eléctricos, seria atenuada por uma *bateria tampão*: uma bateria de acumuladores montada em paralelo com o circuito da central. Essa bateria, de 265 elementos, era alimentada por um grupo especial de máquinas eléctricas de corrente contínua — o *Grupo Pirani* — formado por um motor, um gerador e uma excitatriz, ligados mecanicamente. Este sistema eléctrico de regularização da carga da central já não estava em funcionamento em 1924.

Na concepção inicial do projecto da Estação Central Geradora de Massarelos considerou-se que a corrente contínua era o tipo principal de corrente utilizada. Por isso todos os sistemas auxiliares da central em que era necessário força motriz utilizavam motores de corrente contínua.

- Elevação da água do rio Douro para os condensadores — 3 motores de 32 kW.
- Circulação da água de alimentação das caldeiras — 2 motores de 33 kW
- Aspiração de ar nas grelhas de queima — ventoinhas com motor de 29,8 kW [22]
- Tiragem forçada para a chaminé — um ventilador com motor de 58 kW.

No projecto inicial apenas estava previsto uma potência de 200 kW para os sistemas auxiliares; mas, ao longo do tempo as necessidades foram aumentando, com o aumento do número de caldeiras ou com a insuflação do ar nas grelhas provocada pela qualidade dos carvões de S. Pedro



da Cova que a situação mundial obrigou a utilizar.

A única máquina eléctrica estática auxiliar era o transformador abaixador 5000/500 V utilizado na alimentação do motor de indução trifásico de accionamento de uma excitatriz, atrás descrito.

3.6 O Quadro Eléctrico

O quadro eléctrico da Estação Central Geradora de Massarelos estava concebido por células [30]. A cada célula correspondia uma função — de ligação, de comando, de medida — que centralizava num espaço restrito as principais operações de condução manual das máquinas eléctricas geradoras e auxiliares. Apesar deste princípio orientador o quadro eléctrico distribuía-se por três andares, com algumas alavancas de manobra a uma pequena distância do quadro, em colunas situadas no pavimento principal.



Nesta instalação eléctrica é de salientar a concepção da Central como uma fonte de energia eléctrica em corrente contínua, onde a corrente alternada se destinava apenas a um mais económico transporte da energia eléctrica para as subestações. Por isso, ou era produzida em

alternadores ou resultava da conversão de corrente contínua. Também os alternadores podiam servir como fonte geral de energia eléctrica a converter para utilização em corrente contínua.

A saída da central fazia-se por vários alimentadores de corrente contínua.

Alimentadores (corrente contínua 550 V)						
1a	1b	2	3	4	5	6
Alameda de Massarelos frente à Central	Alameda de Massarelos frente à Fábrica Aliança	R. da Piedade, Cedofeita, R. dos Bragas	Praça da Liberdade	Praça da Liberdade	Praça da Liberdade	Arrábida

Em corrente alternada existiam três saídas da central, por duplo cabo. Eram as saídas para as subestações do Castelo do Queijo, da Telheira e de Contumil.

No quadro eléctrico principal da central existiam alguns instrumentos de medida, desempenhando alguns a sua função em diversos circuitos a que eram momentaneamente ligados por comutadores. Os aparelhos de medida de corrente alternada eram alimentados por intermédio de transformadores. Devido às imposições

regulamentares, e à forma de exploração da central, existiam vários aparelhos registadores da medida de grandezas eléctricas.

Os aparelhos de protecção de que estava provida a central destinavam-se apenas a proteger as máquinas eléctricas das perturbações nas linhas de saída, e obedeciam a uma concepção simples.

3.7 A Exploração da Central

A exploração da central era efectuada por condução manual dos equipamentos, e processava-se durante o dia da seguinte forma: das 5 h e 30 min até à 1h 40 min da manhã seguinte funcionava um gerador de corrente contínua um alternador e uma comutatriz; da 1h 40 min às 3h 30 min trabalhava o gerador de corrente contínua e a comutatriz para se proceder à limpeza (manutenção) do alternador; das 3h 30 min às 5h 30 min parava o gerador de corrente contínua e funcionava o alternador e a comutatriz, enquanto se fazia a manutenção do gerador de corrente contínua; às 5h 30 min voltavam a funcionar as três máquinas eléctricas. Nos momentos de “ponta da produção” era colocado em funcionamento mais um gerador de corrente contínua.

Cada um dos dois alternadores funcionava neste regime diário durante quinze dias consecutivos; cada um dos três geradores de corrente contínua trabalhava no regime descrito durante oito dias consecutivos; cada uma das duas comutatrizes funcionava sem paragem durante seis dias.

4. O Engenheiro Projectista

Foi o Eng. Luís Couto dos Santos o autor do projecto inicial (1909) e do projecto complementar (1912) [5] da Estação Central Geradora de Massarelos, e de algumas outras obras anexas, como a central de bombagem da água do rio Douro e as três Subestações de Tracção. Nessa altura desempenhava as funções de Engenheiro-Chefe do Serviço de Construção da Companhia Carris de Ferro do Porto. Mais tarde, quando a central entrou em funcionamento, passou a Engenheiro-Chefe da Central de Massarelos, função que desempenhou até 1924.

O Eng. Luís Couto dos Santos, nasceu em 1-3-1872 e faleceu em 31-1-1938, licenciado em Engenharia Civil de Obras Públicas pela Academia Politécnica do Porto em 1894, teve, também, uma brilhante carreira universitária como Professor da 3ª Secção (Mecânica e Electrotecnicia) da Faculdade Técnica desde 1915, tendo sido nomeado director dessa Faculdade de 14-10-1919 a 14-5-1929 [31]; em 1919 recebeu a incumbência da Direcção do Laboratório Electrotécnico. Depois foi Professor Catedrático do 6º Grupo (Electrotecnicia) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, de que foi nomeado director de 16-10-1935 até 8-1-1936; em 30-11-1926 tomou posse do lugar de Director do Laboratório de Electrotecnicia. Esteve sempre ligado à docência das cadeiras de Máquinas Eléctricas.

Vivendo numa época de grande desenvolvimento e inovação no campo da Electrotecnicia, de que o domínio da Produção de Energia, das Máquinas Eléctricas e da Tracção Eléctrica foram exemplos significativos, o Eng. Luís Couto dos Santos soube acompanhar essa evolução através do estudo [32] e

da reflexão que concretizou na realização de vários projectos [33], e promovendo, também, um ensino da Engenharia Electrotécnica baseado numa grande componente de experimentação laboratorial [34].

Conclusão

Nesta comunicação foi descrita a Estação Central Geradora de Massarelos tal como se encontrava em 1924, para mérito do engenheiro seu projectista e chefe da sua exploração, e proveito de uma cidade, e dos seus arredores, em crescimento constante e quando os transportes públicos eram absolutamente necessários a quem aí trabalhava e contribuía para o seu desenvolvimento...

Agradecimento

Agradecemos ao Museu do Carro Eléctrico da Sociedade de Transportes Colectivos do Porto (STCP) as facilidades concedidas na consulta dos elementos disponíveis e no acesso às instalações da antiga Central.

Notas e Referências

Na elaboração deste trabalho foram utilizados documentos existentes na Biblioteca da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), no Arquivo Distrital do Porto (ADP), no Arquivo Histórico Municipal do Porto (AHMP), na Biblioteca Pública Municipal do Porto (BPMP) e no Museu do Carro Eléctrico da STCP (MCE).

- [1] Domingos Moura; “Notas sobre a Engenharia Electrotécnica em Portugal no Domínio da Energia”, in “História e Desenvolvimento da Ciência em Portugal no Séc. XX”, Academia das Ciências de Lisboa, 1992
- [2] Ver o exemplo paradigmático da série de artigos do Eng. Ilídio Mariz Simões na revista ELECTRICIDADE sobre “Os Pioneiros da Electricidade em Portugal”
- [3] Manuel Vaz Guedes; “Porto 1895 — A Electrificação da Linha da Restauração”, aceite para publicação na revista ELECTRICIDADE
- [4] Despacho ministerial de 26-8-1911; (MCE). Contratos de 1-10-1910, alterado em 22-1-1913, e de 13-11-1914 e registados em notário (ADP)
- [5] Luís Couto dos Santos “Estação Central Geradora de Massarelos — Memória Descritiva do Requerimento para Completar a Execução Total do Projecto de 1909”, Massarelos, 1912 (MCE)
- [6] Existe registo de uma licença para estabelecimento de ramais de iluminação em 1921 e em 1924; existe registo de licença para estabelecimento de derivação ou de ramal em 1922, em 1923, em 1924. Os Relatórios de Gerência desses anos referem o valor da receita com a venda de energia eléctrica (MCE)
- [7] Ezequiel de Campos; “A Electrificação de

- Portugal”, Separata n.º 692 da Revista da Associação dos Engenheiros Cívicos Portugueses, 1933
- [⁸] Paul Dupuy; “La Traction Électrique”, Lib. Sciences Générales, 1897
- [⁹] Art. 6.º; “Regulamento para o Serviço de Tracção Eléctrica”, 12 de Março de 1903
- [¹⁰] Art. 12.º; “Regulamento para o Serviço de Tracção Eléctrica”, 12 de Março de 1903
- [¹¹] “Relatório e Contas do Conselho de Administração — exercício de 1923”, CCFP, 1924
- [¹²] Ver os “Relatório e Contas do Conselho de Administração da CCFP” referentes a essa época.
- [¹³] Na realização deste trabalho além da bibliografia citada foram utilizados apontamentos pessoais retirados há alguns anos de Relatórios de Estágio que existiam no Arquivo da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [¹⁴] Ver o respectivo processo, (*AHMP; Livros de Obras*)
- [¹⁵] Ver Rodrigo Sarmiento Beires; “As Novas Instalações da Central Eléctrica de Massarelos da CCFP”, resumo da comunicação feita na Associação dos Engenheiros Cívicos do Norte de Portugal em 19 de Fevereiro de 1932
- [¹⁶] Já em 1895 parte deste terreno (600 m²) pertencia à CCFP e esteve para ser montada aí a primeira central geradora; ver “Relatório e Contas do Conselho de Administração — exercício de 1894”, CCFP, 1895
- [¹⁷] Na toponímica actual, o terreno é limitado a Sul pela Alameda Basílio Teles, a Leste pela R. de D. Pedro V e a Oeste pela R. do Capitão Eduardo Romero
- [¹⁸] A fachada do edifício só foi construída posteriormente, ficando em 1915 com uma frente provisória (*AHMP; Livros de Obras*)
- [¹⁹] Só em 1930 foi instalado um turbo-grupo BBC de 5 MW; a turbina tinha 2 corpos e duas derivações para aquecimento da água de alimentação (125° C) e destilação, pressão do vapor – 25 atm e sobreaquecido à temperatura de 400° C
- [²⁰] Foi realizado em 1923 um contrato de carvão com as Minas de S. Pedro da Cova, por 19 anos; ver “Relatório e Contas do Conselho de Administração — exercício de 1923”, CCFP, 1924
- [²¹] Ver Rodrigo Sarmiento Beires, Manuel Corrêa de Barros, Carlos Braga; “A Substituição do Remexedor de Combustível das Caldeiras Walther da Central Eléctrica de Massarelos por um Tubo de Retenção”, Congresso Luso-Espanhol para o Progresso das Ciências, Junho de 1942 (*BPMP*)
- [²²] Os piores valores apresentados pelos consumidores não eram aceites pelos técnicos mineiros, que apresentavam valores muito mais favoráveis e atribuíam a culpa à desadaptação da fornalha ao carvão!... Ver A. Farinas de Almeida; “A Bacia Carbonífera do Norte e a Solução Termo-eléctrica do Problema da Electricidade no Norte de Portugal”, Conferência na Associação dos Engenheiros Cívicos do Norte de Portugal em 27 de Abril de 1929 (*BPMP*)
- [²⁵] Por despacho ministerial de 17/9/1915 foi autorizada a utilização de dois ventiladores centrífugos (cada 29,8 kW) para dar sobressão à bateria de caldeiras, por aspiração (21 m³/s). (*MCE*). Em 1924 foi reconstruída a chaminé e adoptaram-se ventoinhas novas; ver “Relatório do Conselho de Administração — exercício de 1924”, CCFP, 1925
- [²⁴] Existe referência [⁵] a uma máquina geradora de corrente contínua de 500 kW, que antes estava na Central da Arrábida, e que seria transferida conjuntamente com a respectiva caldeira e máquina térmica para a Central de Massarelos. No entanto, não se encontrou referência a este grupo de máquinas noutras fontes consultadas.
- [²⁵] A fábrica Bollinckx, estava localizada em Buysinghen, na Bélgica desde 1922, tinha secções de máquinas a vapor, motores a gás e óleos pesados, caldeiras fixas e marítimas, secção de fundição e de metalurgia.
- [²⁶] A sociedade Siemens–Shuckert Werker G. m. b. H. de Berlim resultou da fusão em 1903 da Siemens e Halske de Berlim com a Shuckert de Nuremberg. Em 1927 tornou-se uma sociedade anónima.
- [²⁷] Estas comutatrizes ainda hoje existem, funcionando perfeitamente, embora estejam fora de serviço (*MCE*)
- [²⁸] Note-se que nesta primeira fase os circuitos auxiliares da central eram alimentados em corrente contínua; os motores eléctricos utilizados na bombagem e na ventilação eram motores compostos de corrente contínua.
- [²⁹] Cada elemento era formado por 16 placas positivas e 16 placas negativas separadas por folhas de madeira e contidas em vaso de vidro. Devido a dificuldades de manutenção esta bateria estava fora de serviço em 1924.
- [³⁰] Também estava concebido segundo os princípios estéticos típicos da arquitectura industrial da época (1909)
- [³¹] Ver “Faculdade Técnica — resumo histórico e organização”, edição para a Exposição Internacional do Rio de Janeiro, 1922
- [³²] Como se pode comprovar através da variedade, extensão e actualização do seu espólio bibliográfico (*BFEUP*)
- [³³] Sendo o mais curioso: “As linhas gerais de um anteprojecto do Bairro Universitário do Porto”, 1923
- [³⁴] Ver a sua comunicação ao I Congresso Nacional de Engenharia: “O Ensino da Electrotecnia na Faculdade de Engenharia do Porto”, 1931