

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SOLUÇÃO AQUOSA DESINCRUSTANTE E ANTICORROSIVA EM SISTEMAS DE TROCADORES DE CALOR DE USINAS DE GERAÇÃO DE ENERGIA

Flávio Chiesa¹; Rogério Joroski²; Eduardo M. Trindade³; Simone C. Lombardi⁴; Helena M. Wilhelm⁵; Analucia L. Gomes⁶, Claudio A. Deger⁷

Abstract

The main proposal of the project is to evaluate the antincrusting e anticorrosive effect of an inorganic phosphate aqueous solution inside cooling systems and also in pipelines. The inorganic phosphate solution was continuously added to the cooling system water of two power plants from Companhia Paranaense de Energia - COPEL, Usina Hidrelétrica de Salto Caxias (UHE SCX) and Usina Hidrelétrica Professor Parigot de Souza (UHE GPS), and in turbine pipelines at Usina Hidrelétrica de Foz do Chopim (UHE FCE). The performance of these aqueous solutions was analyzed by water physical and chemical analysis and with recording tapes made internally of the pipelines, using an internal camera, before and after the solution application. The results showed that the solution used is efficient in decreasing the incrustations previously formed inside the pipelines, allowing the equipment correct operation, maintaining the temperature at the right ranges and avoiding the tubes obstruction. After the first applications, the number of mechanical cleaning actions on these systems decreased hardly, indicating that solution also inhibites new incrustation formation. The tested solution efficiency can be explained based on a monocelular ferrous phosphates microfilm formation, that covers the tubes inside walls.

Resumo

Este trabalho avaliou o efeito desincrustante e anticorrosivo de uma solução aquosa à base de fosfatos inorgânicos em sistemas de resfriamento e em tubulações. A solução citada foi adicionada, de forma contínua, na água destinada aos sistemas de resfriamento de duas usinas de geração de energia da Companhia Paranaense de Energia - COPEL, Usina Hidrelétrica de Salto Caxias (UHE SCX) e Usina Hidrelétrica Professor Parigot de Souza (UHE GPS), e nas tubulações da caixa de vedação da turbina na Usina Hidrelétrica de Foz do Chopim (UHE FCE). O desempenho da solução foi avaliado através de análises físico-químicas de controle da água e de filmagens realizadas dentro das tubulações, utilizando-

¹ Mestre, Engenheiro Mecânico - Companhia Paranaense de Energia – COPEL

² Químico, – Indústria de Produtos Químicos Ltda – CLANOX

³ Doutor, Químico – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC

⁴ Mestre, Engenheira Química – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC

⁵ Doutora, Química – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC

⁶ Especialista, Química – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC

⁷ Químico – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC

se um fibroscópio, antes e após o início da aplicação da solução. Os resultados mostraram que a solução aplicada atua de forma eficiente na diminuição das incrustações previamente existentes nas tubulações, possibilitando a manutenção das temperaturas nos trocadores de calor em níveis satisfatórios à operação e evitando a obstrução das tubulações. Após as primeiras aplicações, o número de paradas nas máquinas, visando a limpeza mecânica nos sistemas diminuiu significativamente, indicando que a solução aplicada também inibe a formação de novas incrustações. A eficiência da solução testada baseia-se na formação de uma micropelícula monocelular de fosfato ferroso nas paredes do tubo metálico.

Palavras-chave: Poliortofosfatos, sistemas de resfriamento, incrustações, corrosão.

1. Introdução

O objetivo do projeto foi a avaliação da eficácia do produto ECONOX-TC quando utilizado em situações críticas de formação de incrustações apresentadas pelas usinas geradoras de energia da COPEL. A eficácia desse produto já está comprovada como auxiliar no tratamento de água potável com a finalidade de manter sua cor e turbidez estáveis, de acordo com as normas vigentes no Brasil. Os produtos da linha ECONOX são também largamente utilizados em sistemas de tratamento de água como auxiliares na prevenção de incrustações e no controle de corrosão em redes de distribuição.

Esta avaliação foi realizada em três usinas da COPEL que apresentavam sérios problemas de ordem técnica nos equipamentos devido às incrustações formadas nas tubulações.

2. Produto Utilizado

As usinas geradoras de energia da Companhia Paranaense de Energia – COPEL enfrentam problemas relacionados às incrustações nos sistemas de resfriamento água/óleo mineral isolante utilizado em transformadores, e também em tubulações de caixas de vedação das turbinas. Estas incrustações acarretam, no caso dos trocadores de calor, perda de eficiência na troca térmica água/óleo. Como consequência, o equipamento não opera de maneira satisfatória, contribuindo para o aumento na temperatura do fluido isolante. No caso das caixas de vedação das turbinas, o problema está diretamente relacionado com a obstrução das tubulações devido às incrustações. Essas incrustações aceleram o processo de corrosão nas tubulações, o que diminui consideravelmente a vida útil dos equipamentos. O estudo de alternativas técnicas, econômica e ambientalmente viáveis, que inibam a formação dessas incrustações nas tubulações é de grande importância para a COPEL e para as demais concessionárias que utilizam equipamentos semelhantes.

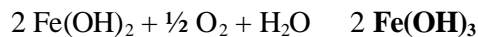
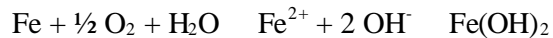
Um processo deteriorativo em materiais metálicos se caracteriza pela perda de material através da dissolução (corrosão) ou pela formação de material não metálico (oxidação) ^(1, 2).

A corrosão é apontada como um grave problema que afeta a economia das empresas uma vez que os gastos relacionados vão desde a implantação de uma política de prevenção, minimização do processo corrosivo, até mesmo a substituição completa de equipamentos ou tubulações já afetados ^(1, 2).

No caso de materiais metálicos, a corrosão é um processo eletroquímico que, geralmente tem início na superfície dos metais, onde ocorre uma reação química com transferência de elétrons de uma espécie química para outra. Este tipo de reação, caracterizada pela perda de elétrons, é chamada de reação de oxidação e está representada a seguir pelo metal M, hipotético, de valência n ^(1, 2).



Porém, um processo eletroquímico é composto de uma reação de oxidação e por uma de redução, sendo que o processo propriamente dito é a soma das duas reações. As reações a seguir exemplificam este processo ^(1, 2).



No caso da corrosão do ferro na água, as reações que ocorrem são as apresentadas anteriormente, sendo que o composto formado é o óxido de ferro, produto conhecido da corrosão ^(1, 2).

O processo corrosivo pode ser acelerado ou até mesmo desencadeado dependendo do meio em que determinado material se encontra. A atmosfera, soluções aquosas, solos, ácidos, bases, solventes inorgânicos, líquidos metálicos, dentre outros são alguns exemplos de ambientes corrosivos. Ambientes aquosos podem ter uma grande variedade de componentes, dentre eles oxigênio dissolvido, que desencadeiam o processo corrosivo ^(1, 2).

A minimização do processo corrosivo pode ser feita principalmente através de três metodologias: a) estabelecendo revestimentos protetores, b) evitando pares galvânicos e c) introduzindo proteção galvânica ^(1, 2).

Inicialmente a melhor forma de evitar a corrosão é escolhendo o melhor material a ser utilizado de acordo com a situação a que será exposto. Porém, na maioria das vezes não é possível prever todas as situações e em algum momento o processo corrosivo terá início ^(1, 2).

O revestimento anticorrosivo/protetor é baseado fundamentalmente na aplicação de um material que vai isolar o metal do eletrólito desfavorecendo a corrosão ^(1, 2).

A ação anticorrosiva do produto utilizado neste trabalho baseia-se na formação de uma camada de passivação. Ele possui a capacidade de formar uma micropelícula monocelular de fosfato ferroso em tubos de metal, bem como de desenvolver processo ativo e completo na remoção de incrustações em tubos de qualquer material e da corrosão em tubos de ferro ^(1, 2).

O ECONOX-TC, produto a base de fosfatos inorgânicos, atua complexando íons metálicos inibindo o crescimento de ferro-bactérias, naturais em águas superficiais que favorecem e fazem parte das incrustações, gerando um importante biofilme que adere à superfície da tubulação ^(1, 2).

Estes microorganismos se alimentam de Fe^{2+} e tiram energia para sua existência da transformação do Fe^{2+} em Fe^{3+} , sendo que a mudança dos íons de Fe^{2+} para moléculas complexas, impede esta transformação para Fe^{3+} , limitando sua alimentação e crescimento ^(1, 2).

3. Desenvolvimento

Os trabalhos foram desenvolvidos em três unidades geradoras da Companhia Paranaense de Energia – COPEL que estavam apresentando sérios problemas relativos às incrustações:

- UHE GPS – limpeza “on-line” dos trocadores de calor de placas dos transformadores;
- UHE FCE – limpeza “on-line” da tubulação do sistema de vedação da caixa espiral da turbina;
- UHE SCX - limpeza “on-line” dos trocadores de calor de placas do sistema de resfriamento da usina.

A usina de GPS está com problemas relacionados às incrustações nos trocadores de calor de placas que realizam a troca térmica do óleo isolante utilizado nos transformadores. As figuras 1 e 2 mostram placas de um dos trocadores de calor da usina antes e depois da limpeza manual das mesmas, realizadas em paradas programadas da usina.

Estas incrustações acarretam uma perda de eficiência na troca térmica do trocador e conseqüentemente o equipamento não opera de maneira satisfatória aumentando a temperatura do óleo dos transformadores. A tabela 1 mostra os resultados obtidos nas análises para determinação aproximada da composição das incrustações.

A solução encontrada pela usina até o momento, é a realização de limpezas mecânicas nos trocadores e também limpezas manuais.

Semanalmente, é injetado ar comprimido em contra fluxo nos trocadores o que, em função da pressão gerada, limpa parcialmente as placas, aumentando a área de troca térmica e, conseqüentemente a temperatura do óleo retorna aos níveis adequados à operação. A figura 3 mostra o momento exato da injeção de ar comprimido na tubulação do trocador, quando é possível visualizar a saída da sujeira acumulada.

Anualmente é realizada uma parada nas máquinas para limpeza manual das placas dos trocadores. Nesta parada, o trocador é desmontado e cada uma das placas é limpa, individualmente, com uma escova.

Nas usinas de FCE e SCX os problemas estavam ocorrendo devido às incrustações nas tubulações da caixa de vedação do eixo das turbinas e nos sistemas de resfriamento, respectivamente. As usinas utilizavam limpezas mecânicas periódicas como forma de solucionar o problema.

O processo de limpeza mecânica não é eficiente por vários motivos:

- Só atua nas camadas superficiais da incrustação, não removendo as camadas profundas e mais resistentes, que ao longo do tempo tendem a causar severas obstruções acumulativas;
- O material removido se apresenta na forma particulada gerando abrasão e desgaste dos equipamentos, com conseqüente diminuição de sua vida útil;
- Por serem operações pontuais, o problema tem uma curva de agravamento ao longo do tempo, ou seja, logo após a limpeza com ar comprimido o equipamento já volta a sofrer incrustações e a perder eficiência, e até o momento da próxima operação não trabalha com 100% de sua capacidade.

A utilização de um material desincrustante “on-line” nesses sistemas, viria a solucionar o problema da troca térmica, bem como os problemas secundários gerados pela solução provisória utilizada e ainda os

problemas gerados pela obstrução das tubulações devido às incrustações.

Suas principais vantagens são:

- Resultados imediatos e contínuos a partir do momento do início da dosagem dos produtos.
- Desincrustação total das tubulações ao longo do tempo.
- Não altera a rotina dos trabalhos da usina.
- Manutenção da eficiência do sistema de troca térmica ao longo do tempo.
- Controle da temperatura pela manutenção da área de troca, sem o efeito das incrustações.
- O agente aplicado tem ação inibidora de corrosão.
- Não causa esforços desnecessários, abrasão ou fadiga nos equipamentos, alongando sua vida útil e reduzindo custo operacional.
- O agente testado é absolutamente seguro ao manuseio, não causando riscos aos funcionários como quando é realizada a limpeza mecânica com de ar comprimido.
- O produto é ambientalmente seguro.

A dosagem do produto na UHE GPS foi realizada em duas unidades: unidade 2 e unidade 3. A escolha específica dessas duas unidades foi baseada no fato das placas do trocador de calor da unidade 2 terem passado pela limpeza manual anual no dia 09/05/2003, data próxima ao início da dosagem do ECONOX-TC, e as da unidade 3 no dia 14/12/2002. Portanto, são duas situações diferentes a serem analisadas. Na primeira delas o produto estaria sendo utilizado de maneira preventiva e na segunda de maneira corretiva. O início da dosagem na unidade 2 foi no dia 22/05/2003 e na unidade 3 no dia 09/06/2003. A figura 4 apresenta uma foto da instalação do sistema de dosagem na unidade 2.

A figura 5, apresenta uma visão geral do ponto de dosagem de ECONOX-TC no sistema de vedação da caixa espiral da turbina da usina de FCE. O início da dosagem na usina de FCE foi no dia 04/06/2003.

A dosagem do produto na UHE SCX iniciou oficialmente no dia 16/10/2003 na unidade 2. Os sistemas instalados são os seguintes:

- Sistema de vedação do Eixo da Turbina;
- Sistema de resfriamento Mancal Turbina;
- Sistema de resfriamento Mancal Guia Superior.

A figura 6 mostra um dos pontos de dosagem do produto na UHE SCX (caixa de vedação do eixo da turbina).

O procedimento de dosagem é bastante simples, consistindo basicamente de uma bomba dosadora e tanque de preparo de soluções. A solução preparada é dosada de forma contínua na água destinada aos sistemas de resfriamento e às tubulações. A ação dos agentes se dá de forma imediata, do ponto de aplicação até o ponto final de descarte desta água.

Cada unidade possui dois trocadores de calor alimentados pela mesma caixa d'água. Estes trocadores estão ligados em paralelo, ou seja, o segundo trocador entra em operação somente quando apenas um deles não é capaz de realizar a troca térmica necessária para o resfriamento do óleo. Tanto na unidade 2 quanto na unidade 3, o produto foi dosado na saída da caixa d'água de alimentação dos trocadores de calor.

O esquema da figura 7, exemplifica como foi realizada a dosagem do produto desincrustante na UHE GPS.

4. Resultados

4.1 Usina Hidrelétrica Governador Parigot de Souza (UHE GPS)

Os resultados obtidos na UHE GPS demonstraram a eficiência do produto na desincrustação das tubulações e dos trocadores, possibilitando assim a manutenção das temperaturas em níveis satisfatórios à operação.

Na unidade 2 houve necessidade de realização da limpeza mecânica, injeção de ar comprimido, apenas uma vez, no dia 18/01/2004, 8 meses após o início da dosagem, quando as médias de temperaturas ambiente estavam mais altas em função da estação do ano e conseqüentemente a temperatura da água, líquido de resfriamento dos trocadores de calor, também aumentou, diminuindo a eficiência da troca térmica.

Já na unidade 3 foram realizadas duas injeções de ar comprimido, a primeira no dia 27/08/2003 e a segunda no dia 17/01/2004.

É importante ressaltar que no mesmo período, as outras duas unidades da UHE GPS, unidade 1 e unidade 4, tiveram que ser limpas com ar comprimido semanalmente.

As fotos da figura 8, A e B, foram feitas no dia 29/09/2003, e mostram as tubulações guia para a mangueira de dosagem do ECONOX-TC, após os 6º e 7º meses de dosagem, respectivamente. É possível observar claramente as incrustações formadas nas tubulações metálica, e de PVC, abaixo do nível da água, porém antes da aplicação do agente.

Por esta avaliação visual é possível prever a situação interna das tubulações e dos trocadores de calor sem a aplicação do ECONOX-TC.

Na usina de GPS foram realizados ensaios físico-químicos na água antes e depois da aplicação do produto, nas duas unidades onde o produto foi testado, como forma de monitorar as condições da água^(3, 4).

4.2 Usina Hidrelétrica Foz do Chopim (CHP)

Após o início da dosagem do produto desincrustante foi constatada a continuidade da vazão de água de resfriamento do eixo da turbina, não sendo mais necessário fazer paradas nas máquinas para limpeza das tubulações.

Além da constatação da não diminuição da vazão, foi realizada uma inspeção na tubulação, em uma parada do sistema por motivos alheios ao projeto, quando foi possível constatar que a mesma se encontrava sem incrustações.

Com base nestes dados pode-se concluir que o produto atua de forma eficaz neste sistema.

Na usina Foz do Chopim não foram realizados testes físico-químicos na água, pois o sistema não possui pontos de acesso para a coleta das amostras.

4.3 Usina Hidrelétrica Salto Caxias (SCX)

De acordo com dados fornecidos pela usina, a frequência de limpeza dos equipamentos da unidade 2, máquina onde foi aplicado o ECONOX-TC, diminuiu consideravelmente quando comparada com as demais máquinas.

Na usina de SCX também foram realizados ensaios físico-químicos na água antes e depois da aplicação do produto, nos três pontos de dosagem do produto, como forma de monitorar as condições da água ^(3, 4).

5. Conclusão

Os resultados obtidos evidenciam a eficácia do produto para desincrustação de trocadores de calor e manutenção da limpeza das placas dos mesmos, permitindo assim a manutenção das temperaturas ideais de trabalho.

A manutenção do sistema desincrustado com a aplicação “on-line” do produto, não causa o efeito maléfico da elevação da temperatura e elimina ou reduz significativamente a frequência de paradas das máquinas, bem como, a realização de limpezas mecânicas utilizadas nas três usinas estudadas.

Os filmes obtidos através das filmagens feitas em tubulações de máquinas com e sem aplicação do ECONOX-TC, mostram que nas máquinas onde está sendo efetuada a aplicação do produto, as tubulações se mostram com menor quantidade de incrustações e apresentam um biofilme, o que não ocorre nas máquinas sem a aplicação do agente.

A segunda filmagem realizada nos mesmos pontos filmados anteriormente, possibilita a visualização de uma diminuição significativa na quantidade de incrustações presentes nas tubulações. Esta segunda filmagem possibilitou a comparação não apenas entre as máquinas com e sem aplicação de produto, mas principalmente entre as máquinas com aplicação de produto em períodos diferentes do projeto.

Assim sendo, a aplicação “on-line” do agente ECONOX-TC se mostrou bastante vantajosa para o controle das incrustações, controle de temperatura e preservação dos equipamentos contra a corrosão.

6. Referências Bibliográficas

- (1) CALLISTER, WILLIAM D. Jr., Materials Science and Engineering An Introduction, Editora John Wiley & Sons, Inc., 2ª Edição, 1990.
- (2) VAN VLACK, LAWRENCE H., Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais, Editora Campus, Tradução da 4ª edição, 1984.
- (3) Portaria Nº 1469, de 29 de dezembro de 2000, do Ministério da Saúde.
- (4) APHA, Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed., Washington, 1998.

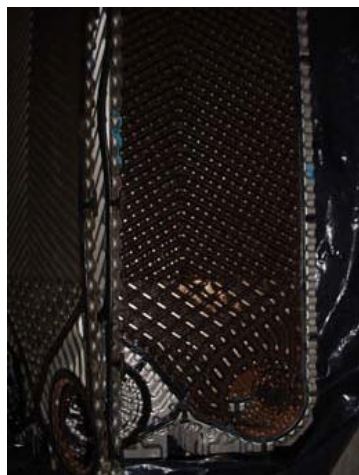


Figura 1: Placa do trocador de calor com incrustações – UHE GPS.

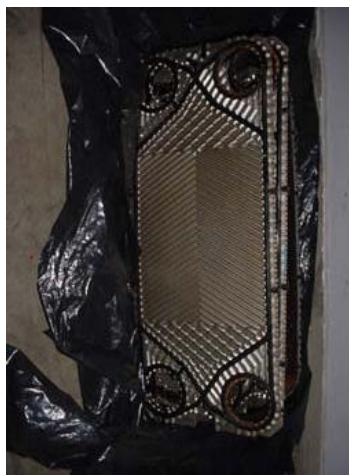


Figura 2: Placa do trocador de calor após limpeza manual – UHE GPS.



Figura 3: Limpeza mecânica do trocador de calor – UHE GPS



Figura 4: Ponto de aplicação do produto
- UHE GPS.



Figura 5: Ponto de aplicação do produto – UHE FCE.



Figura 6: Ponto de aplicação do produto - UHE SCX.

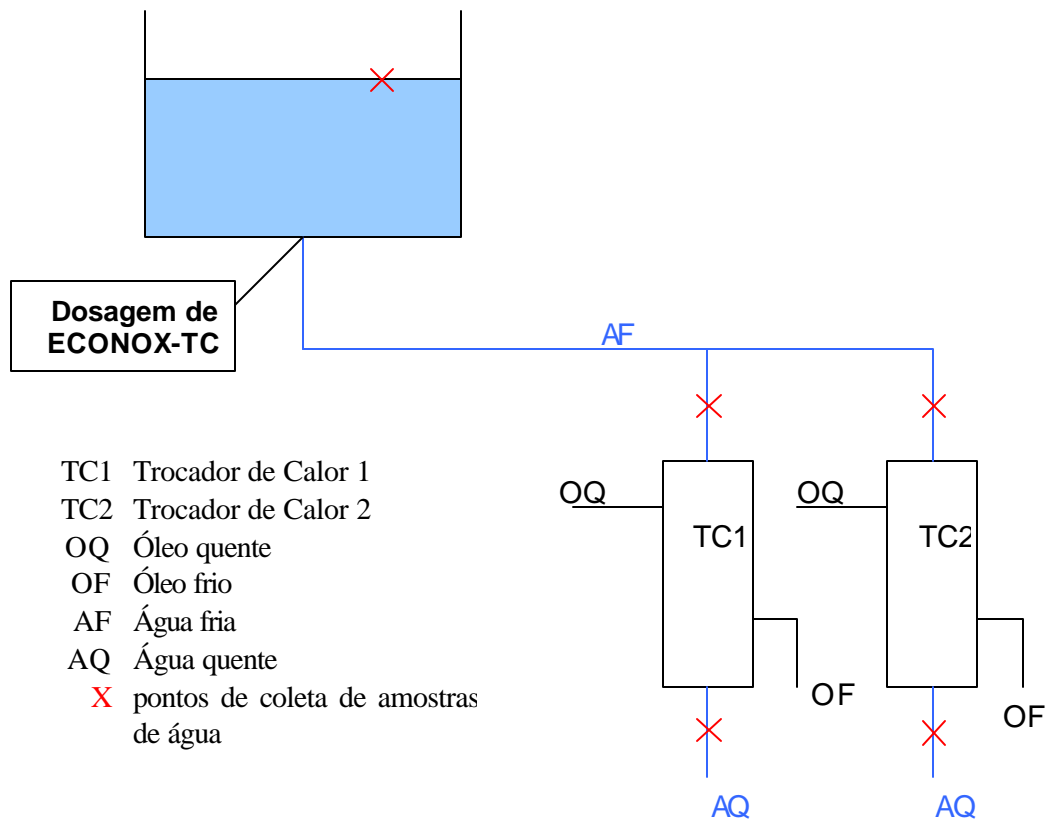
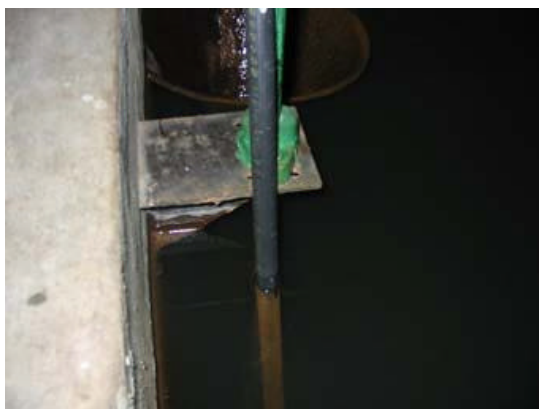


Figura 7: Esquema de Dosagem na UHE GPS



(A)



(B)

Figura 8: Incrustações da tubulação guia de dosagem do produto – UHE GPS: (A) após o 6º mês e (B) após o 7º mês

Elemento (s)	Material incrustado do Trocador de Calor 1 da UHE GPS*(% em massa)
Alumínio	0,24
Ferro	0,77
Níquel	0,001
Cobre	0,005
Manganês	1,6
Cálcio	0,08
Magnésio	0,02
Zinco	0,004
Silício	1,4

* UHE GPS – Usina Hidrelétrica Governador Parigot de Souza

Tabela 1:

Resultados das análises no material incrustado nas placas do trocador de calor da UHE GPS.