

# **VAMAC**

## **ELASTÔMEROS DE**

### **ETILENO**

#### **ACRILATO DE METILA**

**Características**

**Compostos**

**Processamento e**

**Aplicações**



**ÍNDICE**

- Elastômero de Eileno Metil Acrilato;
- Histórico;
- Constituição polimérica do Vamac;
- Propriedades gerais do Vamac vulcanizado;
- Classificação do polímero de Vamac;
- Classificação do polímero de Vamac vulcanizado;
- Condições e indicações de uso;
- Influência da temperatura;
- Resistência a fluidos;
- Resistência ao intemperismo;
- Resistência a baixas temperaturas;
- Resistência à deformação permanente à compressão;
- Resistência à flexão De Matia;
- Resistência à inflamabilidade;
- Propriedades de amortecimento de vibrações;
- Grades de Vamac e suas propriedades principais;
- Tabela n°- 1 – Grades de Vamac;
- Características das grades de Vamac;
- Vamac D e DLS;
- Vamac G e GLS;
- Vamac HG e HVG;
- Compostos com Vamac;
- Antidegradantes;
- Cargas para compostos com Vamac;
- Plastificantes para compostos com Vamac;
- Sistemas de cura para compostos com Vamac;
- Tabela orientativa de alguns sistemas de cura para compostos com Vamac;
- Pós Cura dos artefatos em Vamac;
- Processamento de compostos em Vamac;
- Procedimento de mistura em Banbury;
- Procedimento de mistura em Misturador Aberto;
- Conformação por extrusão;
- Conformação por calandragem;
- Conformação por moldagem;
- Adesão de compostos com Vamac a substratos;
- Formulações de referência com Vamac;
- Tabela n°- 3 – Formulações de referência;
- Conclusão;
- Anexo 1 – Vamac; Guia de resistência química;
- Bibliografia.



## Elastômeros de Etileno – Acrilato de Metila – “VAMAC”

### Histórico

Esforços tecnológicos, oriundos de necessidades especiais sobre materiais elastoméricos que apresentasse resistência a altas temperaturas, próximas àquelas oferecidas pelas borrachas de Silicone combinando com a resistência a derivados de petróleo mostrada pelas borrachas Butadieno-Acrilonitrila, ou Policloropreno, e ainda, que tivesse custos apreciáveis e competitivos, é que motivou os pesquisadores de DuPont Elastomers a desenvolver o VAMAC.

VAMAC é a marca registrada pela DuPont Elastomers, de uma família de polímeros elastoméricos à base de Etileno + Acrilato de Metila.

Este material foi introduzido no mercado em 1975, exatamente para cobrir a lacuna, até então existente, de uma família de borrachas que oferecesse alta resistência a fluidos apolares, basicamente os derivados de petróleo, e suportasse temperatura de trabalho até 170°C, ainda, que fosse de fácil processabilidade de mistura e conformação.

### Constituição Polimérica do VAMAC

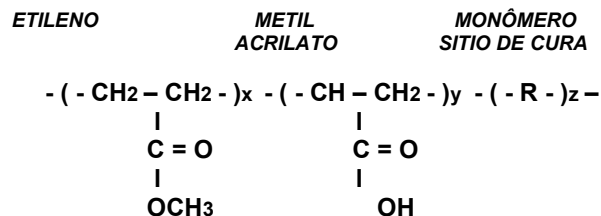
Basicamente o VAMAC é um elastômero constituído de um dipolímero de Etileno- Metil-Acrilato. Diversas grades podem assim ser produzidas, variando as proporções entre os monômeros constituintes.

Estes dipolímeros apresentam cadeias estruturais, (espinha dorsal principal), totalmente saturadas, portanto a cura, ( vulcanização ) somente ocorre através de sistema peroxídicos.

Buscando alternativas de sistema de cura, adicionou-se à estrutura dipolimérica um terceiro monômero carboxilado, formando então um terpolímero contendo radicais reativos com determinadas aminas, desta maneira, conseguindo-se um sistema de cura alternativo, seja, por meio de guanidinas mais aminas.

A combinação estrutural do VAMAC apresenta um copolímero não cristalino, de base etilênica, o que proporciona muito boas propriedades de resistência à flexão em baixas temperaturas, enquanto que o acrilato de metila tende a aumentar a polaridade, do copolímero, o que resulta em superior resistência a derivados de petróleo.

Ainda, tendo o VAMAC estrutura polimérica totalmente saturada, isto proporciona excelente resistência ao ozônio, oxigênio, intemperismo, etc... A **fig. 1** mostra esquematicamente a combinação polimérica estrutural do terpolímero VAMAC.



**Fig. 1**

Esquema Estrutural da Cadeia  
Polimérica do VAMAC – Terpolímero

## PROPRIEDADES GERAIS DO VAMAC VULCANIZADO

### Classificação do Polímero de VAMAC.



Conforme as normalizações ASTM D 1418, para designação de nomenclatura de borrachas e látices, o copolímero de VAMAC é classificado como “**AEM**” ( Copolymers of ethyl or other acrylates and etilene ).

### Classificação do Polímero de VAMAC vulcanizado

Conforme as normalizações ASTM D 2000 “ Standard Classification System for Rubber Products in Automotive Applications”, artefatos produzidos em VAMAC classificam-se como categoria “**EE**”, seja, atendem condições de resistência à temperaturas até 175°C ( Método de testes D 865; 70 horas @ 175°C ), e resistência ao óleo apresentando inchamento inferior a 80%, ( Método de teste D 471, óleo n°- 3, 70 horas @ 150°C ).

### CONDIÇÕES E INDICAÇÕES DE USO

#### Influência da Temperatura

Como vemos, as especificações normalizadas indicam exposição dos artefatos em VAMAC, perfeitamente vulcanizados às condições de altas temperaturas e imersão em óleo por curto período de tempo, seja, 70 horas.

Como para todos os materiais elastoméricos, o efeito envelhecimento térmico atua significativamente, seja, a exposição em altas temperaturas por períodos contínuos de tempo, provoca perdas de propriedades numa relação inversa tempo x temperatura. No VAMAC, observa-se um aumento na densidade de cross-link com subsequente enrijecimento antes de verificar-se qualquer sinal de reversão.

Ensaio mostraram que as propriedades técnicas dos artefatos em VAMAC praticamente não se alteraram após 18 meses exposto à temperatura de 120°C, igualmente observou-se que o bons resultados permaneceram após 6 semanas à 170°C.

A aplicação de artefatos em VAMAC à temperatura entre 190 a 200°C, em serviços contínuos, poderá ser tolerada, porém a vida útil da peça é sobremaneira diminuída, sendo medida em dias, não mais em meses ou semanas.

#### Resistência a Fluidos

Compostos em VAMAC apresentam muito boas propriedades de resistência a óleos e lubrificantes, hidráulicas e graxas, base hidrocarbônicas, melhores resultados serão obtidos se indicado grades de VAMAC contendo mais elevados níveis de Metil-Acrilato. Óleos altamente aromáticos similares ao ASTM n°- 3 poderão apresentar inchamento um pouco maior, comparado as outras categorias destes derivados de petróleo.

Artefatos de VAMAC apresentam boa resistência a fluidos refrigerantes de motor base água + etileno glicol, porém outros pacotes aditivos como anti-espumantes, antioxidantes, etc... Normalmente contidos nesses fluidos refrigerantes poderão causar a deterioração da peça, principalmente no VAMAC terpolímero, ocorrendo enrijecimento e colapso do artefato.

Peças em VAMAC não são indicadas para trabalho em contato com fluidos de origem não mineral, como óleos de freio, fluidos ésteres, cetonas e os demais produtos com características polares. A resistência à gasolina e nafta é pobre, a aplicação em óleo diesel e querosene são toleráveis, desde que não em contato contínuo, ( ver Anexo 1, no final desta literatura ).

#### Indicação de uso do VAMAC

- Óleos lubrificantes,
- Fluidos de transmissão automática,
- Óleo Diesel ( respingos ),
- Água até 100°C,
- Fluidos refrigerantes ( depende dos aditivos ),
- Diversos óleos hidráulicos minerais.

#### Evitar o uso do Vanac

- Gasolina,
- Óleos Aromáticos,
- Acetonas,
- Ésteres,
- Álcoois,
- Químicos concentrados.



### **Resistência ao Intemperismo**

Pesquisadores da Dupont desenvolveram testes de intemperismo em compostos de VAMAC, na Flórida EUA, em que os corpos de prova foram submetidos à luz solar, água, oxigênio e ozônio, durante três anos mostrando mínimo efeito sobre as propriedades técnicas do material. Também, condições muito mais agressivas de ensaios de ozônio foram realizados, (7 dias à concentração de 10000 partes de ozônio por cem milhões de partes de ar ), não apresentaram trincas nos corpos de prova testados.

### **Resistência a Baixas Temperaturas.**

Corpos de prova produzidos à partir de compostos em VAMAC com baixo teor de Metil-Acrilato, sem plastificantes e dureza média, submetidos a testes de flexão em temperatura de - 40°C ( conforme ensaios normalizados pela ASTM ), apresentaram muito bons resultados, mantendo suas características elastoméricas.

A resistência à baixas temperaturas poderão ainda ser melhoradas com a adição de plastificantes ésteres como DOS, ou DOA, podendo-se conseguir resultados de até 15 Mpa de módulo torcional à -40°C.

A escolha de grades de VAMAC contendo elevados teores de Metil-Acrilato oferece melhores resultados de resistência a derivados de petróleo, porém, sua performance de resistência à flexão em baixas temperaturas torna-se prejudicada, mesmo em compostos devidamente plastificados.

### **Resistência à Deformação Permanente à Compressão “DPC”**

Compostos em VAMAC terpolímero, curados por Guanidinas + Aminas ( DOTG + DIAK n°- 1 ), e devidamente pós curados, oferecem excelentes propriedades de resistência à Deformação Permanente à Compressão, atingindo-se valores próximos a 20% em ensaios de 70 horas à 150°C. (Ensaio ASTM D 395 Método B ).

Vale enfatizar que a pós cura é imprescindível para se obter bons resultados de DPC.

Compostos de VAMAC curados por peróxidos oferecem pobres resultados de resistência à DPC, mesmo depois de pós curados.

### **Resistência à Flexão “De Matia”**

Compostos em VAMAC com moderados teores de cargas, sem pós cura e estado de cura não tão elevado, tende a apresentar os melhores resultados de resistência à flexão podendo ultrapassar a 350.000 ciclos.

Os compostos pós curados mostram características inversamente proporcional entre resistência à DPC e resistência à flexão, muito embora, em testes realizados observou-se que compostos em VANAC terpolímero curados por Guanidinas + Aminas e devidamente pós curados, submetidos a ensaios de resistência à flexão em flexômetro De Matia apresentaram resultados que excederam a 250.000 ciclos à temperatura de 100°C, combinando resistência à DPC próximo a 20% ( 70 horas à 150°C ).

VAMAC dipolímero, curados por peróxidos não são indicados para artigos submetidos a trabalhos que exijam resistência à flexão.

### **Resistência à Inflamabilidade**

Os polímeros VAMAC não apresentam boa resistência à inflamabilidade, porém, a decomposição por queima não libera gases corrosivos, muito embora na fumaça existam monóxido e dióxido de carbono.

Melhores características de resistência à inflamabilidade em compostos com VAMAC podem ser conseguidas com a adição ao composto de ingredientes halógenos como o Decabromodifenilóxido combinado com Trióxido de Antimônio, porém, estes materiais reduzem a resistência ao envelhecimento térmico, e ainda, em caso de queima, os gases liberados são halógenos e tóxicos.

Uma alternativa interessante para melhorar a resistência à inflamabilidade dos compostos em VAMAC é a adição de Alumina Trihidratada, ao composto, o que oferece boas propriedades anti-chama e caso ocorra à queima, os gases liberados não são corrosivos nem tóxicos e o volume de fumaça gerado é pequeno.

O Hidróxido de Magnésio, como ingrediente anti-chama, somente poderá ser usado em compostos de VAMAC dipolímero.



### Propriedades de Amortecimento de Vibrações

Polímeros de VAMAC apresentam alta capacidade de amortecimento de vibrações em ampla faixa de temperaturas, entre -30°C a 160°C.

Normalmente compostos com VAMAC não são altamente estendidos em cargas, devido o polímero apresentar baixa viscosidade Mooney, comparativamente a outras famílias de borracha, assim sendo, moderados teores de cargas combinados com plastificantes ésteres, torna ainda mais consistentes os resultados de amortecimento a vibrações nas variadas condições de temperatura de trabalho, do artefato.

Outro fator importante a considerar é que algumas vezes o artefato deverá apresentar muito boas propriedades de amortecimento à vibração e ainda, resistência a derivados de petróleo, o que conduz quase que obrigatoriamente a escolha do VAMAC como o material mais indicado.

### GRADES DE VAMAC E SUAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

A Tabela nº- 1 apresenta as grades de VAMAC comercializados e suas principais características técnicas.

**Tabela nº- 1 Grades de VAMAC**

<b>Nome Comercial DuPont</b>	<b>Estrutura</b>	<b>Teor de Metil Acrilato</b>	<b>Viscosidade Mooney ML 1 + 4 @ 100°C</b>	<b>Sistema de Cura</b>
<b>VAMAC D</b>	Dipolímero E / MA	Normal	22	Peróxido
<b>VAMAC DLS</b>	Dipolímero E / MA	Alto	22	Peróxido
<b>VAMAC G</b>	Terpolímero E / MA / CS	Normal	16	Guanidina + Amina
<b>VAMAC GLS</b>	Terpolímero E / MA / CS	Alto	16	Guanidina + Amina
<b>VAMAC HG</b>	Terpolímero E / MA / CS	Normal	35	Guanidina + Amina
<b>VAMAC HVG</b>	Terpolímero E / MA / CS	Normal	26	Guanidina + Amina

**Legenda:-** E / MA = Etileno / Metil Acrilato  
 E / MA / CS = Etileno / Metil Acrilato / Sitio de Cura  
 Guanidina = DOTG = Diorthotolyl Guanidina ou DPG = Diphenyl Guanidina  
 Amina = DIAK # 1 = Hexamethylenediamine Carbamate

### CARACTERÍSTICAS DOS GRADES DE VAMAC

#### VAMAC D e DLS

VAMAC D e DLS são dipolímeros de Etileno + Metil-Acrilato, cujo sistema de cura se dá unicamente por meio de peróxidos orgânicos.



Embora estes grades de VAMAC sejam limitadas a somente este sistema de cura, a grande vantagem é que o artefato vulcanizado apresenta melhora significativa na resistência ao ataque de diversos produtos químicos de base aminas, muitas vezes presentes em fluidos de refrigeração automotiva.

O sistema de cura peroxídico ainda oferece, ótima segurança de processamento, armazenamento de composto por tempo maior, melhor scorch, cura rápida, muito boa resistência à Deformação Permanente à Compressão, mesmo sem o tratamento de pós cura.

A resistência a óleos derivados de petróleo e a capacidade do artefato vulcanizado manter-se flexível em baixas temperaturas é determinada pelo teor de Metil-Acrilato combinado na estrutura do polímero de VAMAC, sendo que uma característica é inversamente proporcional a outra.

O VAMAC DLS, (em que as letras LS significam “Low Swell”, seja; baixo inchamento em óleos derivados de petróleo), contém em sua estrutura alto teor de Metil-Acrilato, portanto melhor resistência a fluidos apolares, porém, menor resistência à flexão em baixas temperaturas.

O VAMAC D contém médio teor de Metil-Acrilato, oferece melhores propriedades de resistência à flexão em baixas temperaturas e menor resistência a fluidos apolares, se comparado com o VAMAC DLS.

**Nota:-** Se a propriedade de baixa Deformação Permanente à Compressão, for requisito mandatório de especificação, os melhores resultados são encontrados empregando-se grades de VAMAC terpolímero vulcanizados por Guanidinas + Aminas e com o devido tratamento de pós cura.

#### **VAMAC G e GLS**

VAMAC G é um terpolímero de Etileno + Metil-Acrilato + Monômero Sitio de Cura. Contém médio teor de Metil Acrilato, cujo terceiro monômero é que propicia a cura por Guanidina + Amina.

VAMAC G, oferece resistência a derivados de petróleo similar àquela mostrada pelo VAMAC D, e igualmente também são suas propriedades de resistência a flexão em baixas temperaturas.

O VAMAC GLS é um terpolímero similar ao VAMAC G, porém contendo alto teor de Metil-Acrilato em sua estrutura polimérica o que oferece melhores resultados de resistência a derivados de petróleo, porém, inferior resistência a baixas temperaturas.

VAMAC G e GLS apresentam baixa viscosidade Mooney, ( 16 - ML 1 + 4 @ 100°C ), o que proporciona a produção de compostos ricos em polímero, seja, com menores teores de cargas.

Muito embora sejam os grades VAMAC G e GLS, terpolímeros, o que proporciona a vulcanização por Guanidinas + Aminas, estes materiais também oferecem excelentes características de cura por meio de peróxidos.

É imprescindível o tratamento de pós cura em todos os artefatos produzidos com estes grades de VAMAC, para atingir as propriedades técnicas desejadas.

#### **VAMAC HG e HVG**

VAMAC HG é um terpolímero de Etileno + Metil-Acrilato + Monômero Sitio de Cura que permite vulcanização por meio de Guanidina + Amina, é o polímero apresenta mais alta viscosidade Mooney, ( 35 – ML 1 + 4 @ 100°C ) desta família de elastômeros, contém médio teor de Metil-Acrilato oferecendo resistência a fluidos apolares e a baixas temperaturas igual aos grades “D” e “G”, já vistos acima. A designação HG significa polímero de VAMAC com alto green strength.

VAMAC HVG é também um terpolímero de viscosidade Mooney ligeiramente mais baixa que o grade HG, (26 – ML 1 + 4 @ 100°C ). Compostos produzidos com este polímero combinam as boas propriedades técnicas do tipo HG com melhores características de extrudabilidade para mangueiras ou artefatos moldados por injeção



de média a baixas durezas. A designação HVG significa polímero de VAMAC de alto green strength e mais alta viscosidade.

A estrutura polimérica do VAMAC HVG é similar àquela do VAMAC G, porém o primeiro apresenta cadeias de peso molecular mais elevado, assim, mais alta viscosidade Mooney, desta forma consegue-se produzir compostos contendo maiores teores de cargas e viscosidade final, (do composto ) também mais elevada, o que garante melhor processabilidade de moldagem por compressão e extrusão.

Estudos mostraram que é possível produzir compostos a partir do VAMAC HVG com até 30% de viscosidade mais elevada que os compostos com VAMAC HG, ainda oferecem melhor estabilidade de estocagem. Comparativamente a estabilidade dos compostos com VAMAC HVG é similar àquela obtidas dos compostos com VAMAC G e melhor que a dos compostos com VAMAC HG.

### **COMPOSTOS COM VAMAC**

Compostos com VAMAC seguem os mesmos princípios e tecnologias usados para outros tipos de borracha, seja; partindo da escolha correta dos grade de polímero a ser empregado, uso de antidegradantes, auxiliares de processamento, cargas, plastificantes e agentes de cura.

### **Escolha do Grade de VAMAC**

Dependendo das propriedades de resistência química, resistência a altas ou baixas temperaturas, propriedades mecânicas e sistemas de processamento de conformação, do artefato vulcanizado podem escolher o grade mais adequado de VAMAC a ser indicado. A **Tabela nº- 1** mostra resumidamente os grades disponíveis e no texto são apresentadas suas características fundamentais.

### **Antidegradantes**

Em todos os compostos de VAMAC terpolímeros é indispensável a adição de pelo menos 2 phr de um antioxidante da família das Difenilaminas, recomenda-se o Naugard 445 ( fornecimento da Chentura ).

Para compostos baseados em VAMAC dipolímeros, somente 1 phr de Naugard 445 é suficiente.

Ingredientes antiozonantes não são necessários para os compostos em VAMAC.

### **Cargas para Compostos de VAMAC**

Negro de Fumo é o tipo de carga preferida para compostos de VAMAC.

Negro de fumo não afeta as propriedades de resistência ao envelhecimento pelo calor e oferece melhores resultados na resistência à Deformação Permanente à Compressão e a flexão dinâmica.

Os grades de Negro de Fumo N – 762, N – 683 e N – 550, são os mais comumente usados nos compostos, pois, apresentam bom poder reforçante sem emprego de elevados teores de plastificantes.

Grades de Negro de Fumo de alto poder reforçante como o N – 110 e N – 220 também podem ser empregados, porém em teores menores e em compostos sem plastificantes, pois, a dispersão destes tipos de carga, devido ao pequeno tamanho de partículas, mostra-se mais dificultosa e o uso de plastificantes diminui o cisalhamento do polímero o que compromete a incorporação ao composto.

Negro de Fumo N – 990 oferecem baixo poder reforçante ao composto, podendo ser usado mais como carga de enchimento.

As cargas minerais, quando necessárias, poderão ser empregadas, porém, deverão ser cuidadosamente selecionadas.

A Sílica Pirogênica até teores de 20 phr oferece ao composto de VAMAC um alto poder reforçante e apresenta pouca influência nas propriedades de resistência ao envelhecimento térmico.





Carbonato de Cálcio Precipitado normalmente é usado em compostos de VAMAC em teores mais elevados (até 80 phr) oferecendo médio poder reforçante com muito pequena influência nas propriedades de resistência ao envelhecimento térmico. Informações válidas também para o Sulfato de Bário.

Em compostos de VAMAC que exija alguma melhora como retardante à inflamabilidade pode ser usada a Alumina Trihidratada, como carga, porém, tende a reduzir as propriedades de resistência ao envelhecimento. Este tipo de carga ainda poderá provocar alterações nas propriedades mecânicas dos artefatos, pois, tende a produzir ligações iônicas em forma de cross-link nos grades de VAMAC terpolímero.

Outros tipos de cargas que apresentem óxidos metálicos ativos, devem ser evitados ou em caso de pigmentos corantes, (como óxido de cromo até 5 phr, óxido de ferro até 3 phr, dióxido de titânio até 5 phr ) somente mínimos teores, como assinalado, podem ser empregados.

Trióxido de Antimônio em mínimos teores, (5 phr ) ainda são tolerados, bem como ingredientes contendo estearatos metálicos, pois, tendem a diminuir a resistência ao envelhecimento térmico.

Melhor evitar o uso de Caulins e Sílicas Precipitadas.

### **Plastificantes para Compostos de VAMAC**

Cuidado importante deverá também ser considerado na escolha de Plastificantes para compostos de VAMAC.

A seleção de Plastificantes de baixa volatilidade e estabilidade em elevadas temperaturas de trabalho, dos artefatos, são os indicados, o que complementa a performance de resistência ao envelhecimento térmico requerido.

Basicamente a escolha do Plastificante restringe-se aos tipos poliésteres que apresenta efetivo desempenho a temperaturas acima de 180°C, porém, infelizmente esta classe de Plastificantes não são indicados para condições em que os artefatos deverão apresentar também resistência à flexão em baixas temperaturas.

Um Plastificante de média volatilidade e de interessante indicação é o DOS ( di – octil sebacato ), este oferece aos artefatos excelentes resultados de flexibilidade a temperaturas até -50°C, e estabilidade a altas temperaturas até 135°C.

Em peças automotivas algumas vezes costuma-se combinar plastificantes polieters com poliesters para conseguir bons resultados de trabalho desde – 40°C até 175°C.

### **Sistemas de Cura para Compostos de VAMAC**

Como já mencionados acima, muitos artigos produzidos com VAMAC terpolímero são curados através da combinação de Guanidinas e Aminas primárias.

Reticulações, (cross-links), permanentes são formados a partir de radicais carboxílicos contidos na espinha dorsal da cadeia polimérica do VAMAC, o que oferece excelente estado de cura e ótimas propriedades físicas aos artefatos vulcanizados.

Sistema de cura peroxídicos, normalmente indicado para cura de VAMAC dipolímero, também pode ser usado em compostos de VAMAC terpolímero, particularmente na fabricação de revestimento em fios e cabos elétricos.

Sistemas de cura por peróxido não são recomendados para produção de artefatos moldados, pois, apresenta baixa resistência ao rasgamento a quente e poderá tender a grudar mais intensamente no molde.

A propriedade de resistência à Deformação Permanente à Compressão de artefatos em VAMAC curados por peróxidos tende a ser pobre, comparativamente à mostrada pelos artigos curados por Guanidinas / Aminas.

Os grades de VAMAC dipolímeros somente podem ser curados por peróxidos apresentando poucos problemas na desmoldagem.



A **Tabela nº- 2** apresentam algumas sugestões de sistemas de cura para compostos em VAMAC.

**Tabela nº- 2**  
**Orientação de Alguns Sistemas de Cura para Compostos de VAMAC**

<b>Aplicação / Propriedade</b>	<b>Sistema de Cura</b>	<b>Qtde phr</b>	<b>Obs:</b>
Melhor resistência à Deformação Permanente à Compressão	DOTG DIAK N°- 1	4 1,5	Com Pós cura
Melhor resistência à Flexão	DPG DIAK N°- 1	4 1,25	Com Pós cura
Artefato de espessura de parede muito fina	Armeen 2C DIAK N°- 1	6 1,25	Com Pós cura
Para revestimento de Fios e Cabos vulcanizados em túnel de vapor	Perkadox 14 / 40 HVA - 2	7,5 2	Sem Pós cura
Artefatos de VAMAC dipolímeros para peças moldadas	DiCup 40 C HVA - 2	8 2	Sem Pós cura
Fabricação de Mangueiras extrusadas	Varox DBPH 50 TAC	5 2	Sem Pós cura

DOTG = Diorthotolyl Guanidine – Diversos produtores;  
DIAK N°-1 = Hexamethylene Diamine - Marca Registrada DuPont;  
Armeen 2C = Amina Secundária – Marca Registrada Akzo;  
Perkadox 14 / 40 = Bis Peróxido de Benzeno – Marca Registrada Akzo;  
DiCup 40C = Peróxido de Dicumila – Marca Registrada Hercules;  
HVA – 2 = N,N' – Phenylene Dimaleimide – Marca Registrada DuPont;  
TAC = Trialil Cianurato – Diversos Fabricantes.

#### **Pós Cura dos Artefatos em VAMAC**

Os resultados ótimos de propriedades técnicas dos artefatos em VAMAC, (principalmente os grades terpolímeros curados por Guanidinas + Aminas), somente são conseguidos depois do tratamento de pós cura.

O tratamento de pós cura oferece aos artefatos em VAMAC melhor estabilidade de cross-link proporcionando melhores módulos, menor Deformação Permanente à Compressão e resistência ao envelhecimento térmico.

Diversas combinações de Tempo / Temperatura podem ser empregadas para promover o tratamento de pós cura, porém, melhores resultados são apresentados quando os artefatos são submetidos durante 4 horas a 175°C.

#### **Processamento de Compostos em VAMAC**

A baixa viscosidade e baixo green strength dos polímeros de VAMAC são os principais aspectos que determinam os controles das operações de processamento.

É importante que o processamento de mistura em Misturador Aberto ou em Banbury seja em temperaturas mais baixas, que as utilizadas para outros tipos de elastômeros, também, aos compostos devem ser considerados eficientes auxiliares de processo para reduzir a adesão do composto nos rolos ou rotores das máquinas de mistura.

Como auxiliares de processo, a combinação de 2 phr e estearina com 0,5 phr de octadecilamina ( Armeen 18 D ) e 1 phr de Alkil Fosfato ( Vanfre Vam ) apresentam excelentes resultados como anti aderente para os compostos de VAMAC.

Compostos que serão curados por peróxidos, ( VAMAC dipolímero ) ou para artigos de cores claras, o teor de Alkil Fosfato deverá ser reduzido para 0,5 phr, para evitar perdas na tensão de ruptura e módulos.



### **Procedimento de Mistura em Banbury**

- Limpar o Banbury de resíduos de outras misturas usando Borracha Nitrílica;
- Calcular o peso total do composto usando fator de enchimento de 70%;
- Abrir totalmente o sistema de refrigeração da Câmara e Rotores;
- Rotores deverão girar em baixa rotação,
- Melhor processar a mistura pelo sistema UPSIDE DOWN;
- Alimentar a máquina com as cargas, antioxidante e os auxiliares de processo;
- Baixar o pilão e misturar por 30 segundos e recuar o pilão;
- Adicionar o polímero, baixar o pilão e misturar por mais 4 minutos;
- Recuar o pilão, adicionar os agentes de cura;
- Baixar o pilão e misturar por mais 30 segundos;
- Descarregar o composto observando temperatura inferior a 100°C;
- Em Misturador Aberto, homogeneizar e laminar em mantas;
- Resfriar as mantas e enviar para os processos de conformação das peças.

### **Procedimento de Mistura em Misturador Aberto**

- Utilizar Misturador Aberto perfeitamente limpo;
- Abrir totalmente o sistema de resfriamento dos rolos;
- Calibrar abertura entre rolos de aproximadamente 5 mm;
- Alimentar com o polímero para plastificação (mastigação ),
- Adicionar conjuntamente com o polímero os auxiliares de processo;
- Tendo formado a banda sobre o rolo, adicionar as cargas lentamente, observando que a abertura entre os rolos deverão ser aumentada gradualmente;
- Concluída a adição das cargas, homogeneizar perfeitamente o composto;
- Após, adicionar os agentes de cura incorporando-os e homogeneizando-os perfeitamente;
- Laminar em mantas e enviar para os processos de conformação subseqüentes,

Obs.- É importante manter, durante todo o processamento de mistura a temperatura entre 40 a 50°C.

### **Conformação por Extrusão**

Compostos de VAMAC apresentam baixo nervo e baixa viscosidade o que oferece fácil conformação de perfis por extrusão, porém, tende a ter pouca resistência ao colapso, assim, compostos mais carregados e de viscosidade mais elevada produzirá melhores resultados.

A escolha dos grades de VAMAC HG ou HVG são preferidos, e compostos carregados com Sílica Pirogênica bem como Negro de Fumo tipo N – 550 oferecem resultados superiores de processamento. Melhor evitar o emprego de plastificantes, ou usa-los em mínimas quantidades.

A calibragem da extrusora com a gradiente de temperatura de aproximadamente 30°C na boca de alimentação, 65°C ao longo do canhão e rosca e 75°C na matriz, conduzem a um ponto de partida razoável, para o início dos ajustes da máquina.

### **Conformação por Calandragem**

Não são muito comuns, lençóis produzidos em VAMAC, porém, são perfeitamente passíveis de serem produzidos. Alguns cuidados deverão ser observados principalmente devido ao baixo green strength deste tipo de polímero, assim, torna-se quase sempre necessário utilizar tecidos, como suportes.

Os três aditivos auxiliares de processamento, como já mencionados acima, são indispensáveis, na composição, pois, tendem a promover o devido descolamento do lençol, dos rolos da calandra, ainda, a temperatura dos rolos da calandra deverão ser mantidos bastante resfriados, inferior a 35°C.

### **Conformação por Moldagem**

Compostos com VAMAC poderão ser moldados usando os sistemas comuns, empregado a outros tipos de elastômeros seja; compressão, transferência ou injeção.



Compostos para moldagem por compressão, se forem de viscosidade Mooney mais elevada, (comparativamente aos compostos para moldagem por injeção ou transferência ), apresentam melhores resultados, pois, a tendência de falhas por causa de retenção de ar, ou bolhas, é menor. Também, moldes cuidadosamente projetados, observando as saídas de ar, preferencialmente ao lado oposto à posição de alimentação, reduzem probabilidade de defeitos, nas peças. Alimentar o molde com volumes pré formados, dos compostos é indicado.

Em sistemas de moldagem por injeção, um composto com mais elevado green strength processa melhor. As temperaturas na rosca de admissão, (alimentação ), bem como, na câmara de injeção deverão ser mantidas entre 40 a 60°C, enquanto a temperatura no molde, para vulcanização deverá ser entre 185 a 195°C.

A superfície das cavidades do molde deverá ser extremamente polida, de preferência aplicar revestimento em cromo duro, também, compostos perfeitamente balanceados com os devidos auxiliares de processamento, oferece melhores resultados.

A característica de alta polaridade do VAMAC provoca maior possibilidade de grudar o composto no molde e assim aumentar a sujidade, orienta-se o emprego de desmoldante semi permanente e regular limpeza do molde, de preferência por meio de compostos poliméricos designados para tal função.

#### **Adesão de VAMAC a Substratos**

Compostos de VAMAC apresentam fácil adesão a substratos metálicos, principalmente ao aço – carbono. Os cuidados com a limpeza e desengraxe, bem como, o emprego de promotores de adesão, são indispensáveis.

Os grades de VAMAC dipolímeros, curados por peróxidos, apresentam dificuldade um pouco maior de aderir aos substratos, comparativamente aos grades terpolímeros.

A adesão de compostos de VAMAC em fibras têxteis requerem que o tecido seja pré tratado por meio dipping com solução a base de NBR carboxilada + silanos e ainda, algumas vezes, sobre esta dipagem, aplica-se uma fina camada de solução base policloropreno.



**FORMULAÇÕES DE REFERENCIA COM VAMAC**

A Tabela nº- 3 apresenta algumas formulações de referência que oferecem orientações como ponto de partida para desenvolvimentos de projetos de artefatos com VAMAC

**Tabela nº- 3 - Formulações de Referência**

<b>Matérias Primas</b>	<b>F. 1 phr</b>	<b>F. 2 phr</b>	<b>F. 3 phr</b>	<b>F. 4 phr</b>	<b>F. 5 phr</b>	<b>F. 6 phr</b>	<b>F. 7 phr</b>
VAMAC D	100	0	0	0	0	0	0
VAMAC DLS	0	100	0	0	0	0	0
VAMAC G	0	0	100	0	0	0	100
VAMAC GLS	0	0	0	100	0	0	0
VAMAC HG	0	0	0	0	100	0	0
VAMAC HVG	0	0	0	0	0	100	0
Naugard 445	1	1	2	2	2	2	2
Estearina	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2
Armeen 18 D	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1
Vanfre VAM	0,5	0,5	1	1	1	1	1
Negro de Fumo N – 762	65	65	0	0	80	80	0
Negro de Fumo N – 550	0	0	60	60	0	0	0
Dióxido de Titânio	0	0	0	0	0	0	5
Pigmento Corante	0	0	0	0	0	0	?
Alumina Tri - Hidratada	0	0	0	0	0	0	140
Sílica Pirogênica	0	0	0	0	0	0	10
Vinil Silano A - 172	0	0	0	0	0	0	1
Plastificante Tri – Octil - Fosfato	0	0	0	0	0	0	10
DiCup 40C	8	8	0	0	0	0	0
HVA - 2	2	2	0	0	0	0	0
DOTG	0	0	4	4	4	4	4
DIAK N°- 1	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

**Condições de Vulcanização**

- Formulações **F.1 e F.2** → Vulcanização T90 + 5 minutos @ 177°C; sem Pós Cura.
- Formulações **F.3; F.4; F.5; F.6 e F.7** → Vulcanização T90 + 5 minutos @ 175°C com Pós Cura 4 horas @ 175°C

<b>Propriedades</b>	<b>F.1</b>	<b>F.2</b>	<b>F.3</b>	<b>F.4</b>	<b>F.5</b>	<b>F.6</b>	<b>F.7</b>
Dureza ( Shore A )	70	65	65	65	58	63	70
Módulo a 100% ( Mpa )	4,6	3,0	5,0	3,2	4,8	6,0	-
Tensão de Ruptura ( Mpa )	12,5	11	14,5	11,2	14	16	-
Alongamento à Ruptura ( % )	220	320	295	300	240	250	-
D. P. C. 70h @ 150°C ( % )	12	16	20	14	20	16	-
Incham. Óleo ASTM 1 – 70h @ 150°C (%)	5	1	-	2,3	-	-	-
Incham. Óleo ASTM 2 – 70h @ 150°C (%)	26	10	-	11	-	-	-

**Nota:-** Dados apenas referenciais, colhidos em laboratório.



### Conclusão

As informações aqui contidas são oriundas de diversas literaturas técnicas e estudos de casos realizados por técnicos da DuPont, para variadas condições e indicação do emprego de artefatos elastoméricos que buscam atender regular resistência química a derivados de petróleo em temperaturas mais elevadas que aquelas atingidas pelas borrachas convencionais como a NBR ou CR, cobrindo assim esta lacuna, muitas vezes apresentada, principalmente em aplicações para fins automotivos.

### **ANEXO 1 - VAMAC – GUIA DE RESISTÊNCIA QUÍMICA**

NOTA:- Para os ensaios foi empregado VAMAC com médio teor de Metil Acrilato.

<b>PRODUTO QUÍMICO</b>	<b>CONDIÇÕES DE ENSAIO</b>	<b>VARIAÇÃO VOLUME %</b>
Água + anticongelante 50 / 50%	168 horas @ 100°C	+ 7
Água + anticongelante 50 / 50 %	336 horas @ 100°C	+ 6
Água + anticongelante 50 / 50%	504 horas @ 100°C	+ 7
Água + Etileno Glicol 50 / 50 %	168 horas @ 100°C	0
Água Destilada	168 horas @ 100°C	+8
Ácido Acético 20%	168 horas @ 24°C	+ 3
Ácido Acético Glacial	70 horas @ 24°C	+ 113
Ácido Acético Glacial	168 horas @ 24°C	+ 115
Ácido Hidroclorídrico 20%	70 horas @ 24°C	0
Ácido Hidroclorídrico 20%	168 horas @ 24°C	- 1
Ácido Hidroclorídrico Concentrado	70 horas @ 24°C	+ 6
Ácido Nítrico 30%	168 horas @ 24°C	+ 3
Ácido Sulfúrico 20%	168 horas @ 24°C	- 2
Ácido Sulfúrico Concentrado	70 horas @ 24°C	+ 206
Acetona	168 horas @ 24°C	+ 106
Álcool n-Butil	168 horas @ 24°C	+ 35
Álcool Etilico 95%	168 horas @ 24°C	+ 40
Álcool Metílico	168 horas @ 24°C	+ 16
Ciclohexano	168 horas @ 24°C	+ 186
Cellosolve Acetato	168 horas @ 24°C	+ 235
Dibutil Ftalato ( DBP )	70 horas @ 24°C	+ 50
Éter Etilico	168 horas @ 24°C	+ 90
Etileno Glicol	804 horas @ 100°C	+ 12
Fuel A ( referencia ASTM )	168 horas @ 24°C	+ 26
Fuel B ( referencia ASTM )	168 horas @ 24°C	+ 82
Fuel C ( referencia ASTM )	168 horas @ 24°C	+ 130
Fluido de Freio Delco Suprema # 11	70 horas @ 150°C	+102
Formaldeido 37%	70 horas @ 24°C	+ 2
Gasolina sem chumbo 87 octanas	70 horas @ 24°C	+ 65
Gasolina sem chumbo 87 octanas	168 horas @ 24°C	+ 68
Gasolina sem chumbo	168 horas @ 24°C	+ 100
Graxa base Cálcio	24 horas @ 121°C	+ 29
Graxa base Lítio	24 horas @ 121°C	+ 11
Kerosene	168 horas @ 24°C	+ 31
Metil Isopropil Acetona	168 horas @ 24°C	+ 148
Metil Tercio Butil Eter	70 horas @ 24°C	+ 118
Metileno Clorado	168 horas @ 24°C	+ 175
Óleo ASTM # 1	70 horas @ 150°C	+ 5
Óleo ASTM # 1	70 horas @ 177°C	+ 4
Óleo ASTM # 2	70 horas @ 150°C	+ 35
Óleo ASTM # 2	70 horas @ 177°C	+ 29
Óleo ASTM # 3	70 horas @ 100°C	+ 39
Óleo ASTM # 3	70 horas @ 150°C	+ 50
Óleo ASTM # 3	168 horas @ 150°C	+ 60



Óleo ASTM # 3	70 horas @ 177°C	+ 56
Óleo Parafínico	70 horas @ 24°C	0
Óleo Mobil 5 W / 30	504 horas @ 150°C	+ 23
Óleo de Transmissão Automática	168 horas @ 150°C	+ 16
Tolueno	168 horas @ 24°C	+ 212



Bibliografia:

- New developments in Ethylene / acrylic elastomers by Theresa M.Dobel and Jerald R.Harrel, of the E.I.Du Pont de Nemours & Co. Inc. Brochure based on Paper n°- 28 presented at a meeting of the American Chemical Society – Rubber Division. Bulletin H – 34755 - 1975
- Introducing Vamac Ethylene Acrylic Elastomers, by W R.Abell , Bulletin EA – 000.1, Du Pont Company.
- Vamac Ethylene Acrylic Elastomer, A new class of Elastomer, by J.F.Hagman; R.E.Fuller; W.K. Witsiepe, and R.N.Greene. E.I. du Pont de Nemours & Co. Wilmington, Del – May 1976. Bulletin EA – 0002.
- A guide to evaluating Vamac Ethylene Acrylic Elastomer; Properties, Performances, Applications. Du Pont Company.
- Vamac Ethylene Acrylic Elastomer. A survey of properties, compounding and processing. Du Pont Polymers bulletin H – 34753.
- Vamac Ethylene Acrylic Elastomer; Release Agent for Compounding of Vamac, by J.F.Hagman and N. Brodoway, bulletin EA – 400.2 ( R 1 ).
- Vamac Ethylene Acrylic Elastomer, Bonding Systems for Vamac, by J.F.Hagman, bulletin EA – 450.2, Du Pont Company.
- Vamac Ethylene Acrylic Elastomer, Low Temperature Performance, by J.F.Hagman; Bulletin E.A. – 520.1, Du Pont Company.
- Flame retardance in mineral filled compounding of Vamac, by R.J.Boyce, bulletin EA – 520.2, Du Pont Company.
- Vamac Ethylene Acrylic Elastomer; Processing Vamac; Processing Manual E A – 400.1 ( 1 ) , Bulletin H – 48545
- Vamac Ethylene Acrylic Elastomer, Processing Vamac by J.F. Hagman, bulletin EA – 400.1
- Vamac Ethylene Acrylic Elastomer. Doc. Vamac HVG data sheet, v.1, 20 April 2001, E.I. du Pont de Nemours and Company.
- Fluid Resistance of Vamac, by J.F.Hagman, bulletin EA – 510.1 ( R 1 ) , Du Pont Company.
- Fluid Resistance of Vamac by W.M.Stahl, August 1988, Bulletin EA – 510.1 ( R 2 )
- Vamac LS a new Vamac Terpolymer with enhanced oil resistance. Bulletin H – 50287; rev. 7 / 1985.
- Vamac D and Vamac DLS, a new family of Vamac dipolymers with enhanced cure characteristics. Bulletin H – 50285; rev. 7 / 1985.

por:  
V. J. Garbim  
High Performances Elastomers  
Specialist

Este material é um trecho do livro “Tecnologia da Borracha”.  
Adquira o livro através do site [www.cenne.com.br](http://www.cenne.com.br) ou pelo telefone: (19) 3395-4206

