



ISSN: 2359-1986

Novos Saberes, v. 2, n. 2 (2015)

Expediente

Prof. Djonny Weinzierl

Coordenador de Pesquisa

Prof. Luizildo Pitol Filho
Editor Gerente

Denise Cristiane Büttgen Machowsky
Suporte Técnico

Corpo Editorial e Comissão Institucional de Pesquisa

Ciências Exatas, da Terra e Engenharias

Achilles Santos Silva Júnior
André Vinicius Castoldi
Carlos Eduardo Viana
Dianclen do Rosário Irala
Douglas do Nascimento
Francielly Hedler Staudt
Francisco Alfaro
Jaisson Potrich dos Reis
Junio Antunes Koch
Karina Borges Mendes
Luciano de Souza Ribeiro Bueno
Manfred Heil Júnior
Marcelo Matos Martins
Marco Antonio Arancibia Rodriguez
Maria Claudia Lorenzetti Correa
Maria Elisa Philippsen
Renato Oba
Robison Negri
Sebastião Lauro Nau
Silvia Helena Olitta Morato Figueiredo
Tiago Staudt

Ciências Sociais e Aplicadas

Ana Célia Bohn
Carlos Alberto Hartwig
Célia Gascho Cassuli
Cícero Dittrich
Clélia Peretti
Daniel de Mello Massimino
Flávio Knihs
Giovana Ersching Schmitt
Jean Fabyano Andriighi
Juliana Patrícia Petris
Leonardo Papp
Thaissa Schneider

Ciências da Saúde

Ana Paula Aguiar Prudêncio
Antonio José Tonello Junior

Coordenadores de Curso

Ciências Exatas, da Terra e Engenharias

Djonny Weinzierl
Helena Ravache Samy Pereira
Katia Cristina Lopes de Paula
Maurício Henning
Mirian Bernadete Bertoldi Oberziner
Renato Zanandrea
Wilson José Mafra

Ciências Sociais e Aplicadas

Claudio Sérgio Moreira
Jorge Harry Harzer
Juliane Candido
Maikon Cristiano Glasenapp
Marcio Bolda da Silva
Nelson Martins de Almeida
Netto
Paulo Oscar Gielow

Ciências da Saúde

Paulo Luiz Vitterite
Ricardo Tramonte

Sumário

Editorial

[PDF](#)

Francielly Hedler Staudt, Luizildo Pitol Filho

Artigos

[Aprendizagem em solução de problemas: a utilização de programação linear para determinar melhor opção de compra](#)

[PDF](#)

Christiane Nogueira Fernandes, Silvia Lopes de Sena Tagliapietra, Wyktor Stachelski

[Nitretação a plasma em aço ferramenta](#)

[PDF](#)

Adelmo Selhorst Júnior, Júlio César Sagás, Diego Alexandre Duarte

[Evaluación de modelo a escala para control de erosión mediante uso de mantos sintéticos y revegetalización. Estudio de caso: Lomas del Marion, Cartagena, Colombia](#)

[PDF \(ESPAÑOL\)](#)

Claudia Diaz-Mendoza, Juan Carlos Valdelamar

[Construcción de prototipo de planta potabilizadora de agua para abastecimiento en poblaciones aisladas](#)

[PDF \(ESPAÑOL\)](#)

Leandro Niebles Puello, Diana Patricia Zaizon Paternina, María Teresa Ramos Gómez, Jorgelina Pasqualino

[Metodologías para el desarrollo de grupos de investigación multidisciplinarios](#)

[PDF \(ESPAÑOL\)](#)

Miguel Aroca, Johann Faccello Osma

[Fabrication of folding polymeric thin films with hydrophilic properties](#)

[PDF \(ENGLISH\)](#)

Natalia Lopez-Barbosa, Nicolas Zuluaga, Johann Osma

[Projeto interdisciplinar: modelagem matemática da superfície de um fusível diazed](#)

[PDF](#)

Julio Acordi Dorigon, Leandro Nunes de Almeida, Matheus Rahn Krause, Mirian Bernadete Bertoldi Oberziner, Ana Paula Bertoldi Oberziner

Caros leitores,

Uma Instituição de Ensino Superior deve apresentar um equilíbrio entre os vértices de ensino, pesquisa e extensão. O conhecimento científico, entendido como fruto de projetos de pesquisa, auxilia a promover novas metodologias de ensino e aprendizagem, cujos resultados podem vir a beneficiar a comunidade através de projetos de extensão. Esta dinâmica faz com que os alunos, os professores e a própria comunidade tenham um novo olhar sobre a produção científica.

A produção científica pode ser classificada em pesquisa pura e pesquisa aplicada. A primeira preocupa-se em produzir inovações, ao passo que a segunda tem como intuito desenvolver diversas aplicações a partir de um conhecimento pré-existente. Neste novo número, dedicado integralmente a produções nas áreas das Engenharias, os artigos relacionados a nitretação a plasma e produção de filmes poliméricos podem ser denominados pesquisa pura. Já os artigos sobre programação linear, controle de erosão, construção de protótipos para tratamentos de águas, composição de grupos de pesquisa multidisciplinares e projetos de ensino e aprendizagem de cálculo e álgebra são mais voltados à pesquisa aplicada.

Dentro deste contexto, a Revista Novos Saberes tem o prazer de apresentar artigos que foram, em sua maioria, desenvolvidos externamente à Instituição, o que constitui um fato importante para um periódico que deseja firmar-se no âmbito científico nacional.

Boa leitura!

Profa. Francielly Hedler Staudt

Prof. Luizildo Pitol-Filho

Sobre os autores:

Francielly Hedler Staudt possui graduação (2006) e mestrado (2011) em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina na área Logística e Transportes. O doutorado foi realizado em cotutela (2015) na Universidade Federal de Santa Catarina e na Université Grenoble Alpes - França. Desde março/2015 é professora dos cursos de Engenharia de Produção, Elétrica e Mecânica no Centro Universitário Católica de Santa Catarina. Atuou na empresa Weg Equipamentos Elétricos S.A. na área de engenharia industrial (2006-2009), adquirindo experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Planejamento, Projeto e Controle de Sistemas de Produção. Atualmente pesquisa assuntos relacionados à avaliação de desempenho logístico, indicadores de desempenho, previsão de demanda, estoques e cadeia de suprimentos.



Luizildo Pitol Filho possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (1996), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (1999) e doutorado em Chemical and Process Engineering – Universitat Rovira i Virgili (2007). Como recém-doutor, foi pesquisador contratado pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Maribor, Eslovênia, de abril de 2008 a abril de 2009. Atualmente é professor do Centro Universitário de Católica de Santa Catarina.

APRENDIZAGEM EM SOLUÇÃO DE PROBLEMAS: A UTILIZAÇÃO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA DETERMINAR MELHOR OPÇÃO DE COMPRA DE SOFTWARES COM LIMITAÇÃO DE RECURSOS

Christiane Wenck Nogueira Fernandes*, Silvia Lopes de Sena Taglialenha,
Wyktor Stachelski

Centro de Engenharias da Mobilidade, Universidade Federal de Santa Catarina,
Joinville (SC)

3

O aumento da competitividade do mercado faz com que as empresas busquem estratégias para seus negócios visando à redução dos custos e maior eficiência na produção. Neste contexto, tem-se a pesquisa operacional que tornou tais anseios por otimização possíveis dentro das organizações com a utilização de métodos e modelos matemáticos. Assim, este trabalho foi elaborado com o propósito de desenvolver um estudo acerca de pesquisa operacional, mais especificamente de programação linear. Além do estudo teórico, propõe-se um estudo de caso referente à aquisição de *softwares* para disciplinas dos cursos de engenharia e elaborou-se um modelo com base nas técnicas de programação linear para encontrar uma solução ótima com vistas a maximizar o número de alunos atendidos pela compra.

Palavras-chave: Pesquisa operacional; Programação linear; Otimização

PROBLEM SOLVING LEARNING: APPLICATION OF THE LINEAR PROGRAMMING TO DETERMINE THE BEST OPTION OF SOFTWARES ACQUISITION WITH A LIMITED AMOUNT OF RESOURCES

The growing market competition led companies to seek strategies for their businesses in order to reduce costs and achieve greater efficiency in production. Thus, arose the Operational Research, which, by using methods and mathematical models, has such benefits for possible optimization within organizations. The present paper aimed to develop a study on Operational Research, more specifically on Linear Programming. In the theoretical study, we performed a case study on the acquisition of software for several courses of Engineering, by developing a model based on linear programming techniques to find an optimal solution that could maximize the number of students served by the acquisition.

Keywords: Operational Research; Linear Programming; Optimization

* e-mail: christiane.fernandes@ufsc.br

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de metodologias de aprendizagem que busquem facilitar o ensino se faz necessário nas diversas áreas do conhecimento humano (OLIVEIRA et al., 2012). Em um curso de pesquisa operacional para as engenharias, a formação de um estudante envolve não somente os conhecimentos teóricos, mas principalmente uma vivência prática, construída por meio de aplicações e solução de problemas, além da análise de diversos sistemas e modelagens.

Muitos engenheiros atuantes nas organizações constantemente se deparam com situações onde devem ser feitas tomadas de decisões que podem ser cruciais para o sucesso da empresa. Em determinadas situações, tais decisões podem ser simples, sem que haja necessidade de um estudo ou elaboração de inúmeras hipóteses, porém outros casos podem se tratar de problemas complexos onde a utilização de modelos matemáticos e tecnologia se torna indispensável.

O grande desafio encontrado pelas empresas está na busca de novas tecnologias, novos mercados e novos métodos de gerenciamento, devido ao ambiente competitivo onde estão inseridas (FERREIRA E BACHEGA, 2011). Neste contexto é que surge a pesquisa operacional (PO). Segundo Hillier e Lieberman (2013), a PO teve impacto impressionante para melhorar a eficiência de diversas organizações ao redor do mundo, contribuindo significativamente para o aumento da produtividade nestes países.

As decisões dentro da pesquisa operacional podem tratar de diferentes aspectos como, por exemplo:

- Que produto deve ser produzido em maior escala?
- Quanto deve ser comprado de cada insumo e de qual distribuidor?
- Qual caminho oferece um menor custo ou maior fluxo, entre outros?

A área de estudo da PO abrange diversas disciplinas vistas em cursos de graduação nas Engenharias, dentre elas programação linear, programação não-linear, otimização de redes e processos estocásticos. Este artigo foi elaborado com o intuito de demonstrar a aprendizagem em solução de problemas dentro da programação linear.

É através desta motivação que esta pesquisa tem por objetivo explanar a respeito de programação linear, demonstrar a aprendizagem em solução de problemas na engenharia em um exemplo prática de aplicação de uma de suas técnicas. Além deste introdutório, este trabalho conta com um capítulo dedicado a um breve referencial teórico do assunto, seguido da explicação a respeito do estudo feito e análise de resultado do mesmo.

2 PESQUISA OPERACIONAL: REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo a literatura, a origem da pesquisa operacional vem da Segunda Guerra Mundial. Hillier e Lieberman (2013) afirmam que devido à guerra, havia a necessidade de se estudar a forma mais eficiente de se alocar os escassos recursos para as diversas operações militares. Para atingir os objetivos almejados, os comandos britânicos e norte-americanos reuniram um grande número de cientistas para desenvolverem técnicas capazes de resolverem estes e outros problemas táticos e estratégicos enfrentados durante a guerra. Como diversos outros estudos, métodos e tecnologias desenvolvidos durante a guerra, a PO foi um artifício que se encaixou muito bem fora da área militar. Dentro de empresas,

ela trouxe melhoria da produção, gerando redução de custos e consequentemente um aumento do lucro.

As aplicações da pesquisa operacional vão desde o balanceamento de linhas de produção em fábricas, ou o fluxo ótimo de paciente em hospitais, até ao estudo de estruturas sociais e de processos psicológicos. (SELONG E KRIPKA, 2009).

Conforme a complexidade do problema, técnicas mais robustas e *softwares* mais elaborados são utilizados. Aqui serão mencionados problemas e métodos mais simples vistos na PO. Como já citado na seção anterior, a PO se subdivide em diversas outras áreas, mas neste trabalho somente será tratado a respeito da programação linear.

Embora a programação linear seja um ramo da PO mais simples, seu uso dentro de organizações pode ajudar e muito na obtenção de bons resultados. De acordo com Hillier e Lieberman (2013), ela é uma ferramenta que auxilia as organizações na tomada de decisão. A Pesquisa operacional envolve o planejamento de atividades para obter um resultado ótimo.

O resultado ótimo, citado pelos autores, é definido como o melhor valor encontrado para a função objetivo do problema. Esta função pode ser de dois tipos: maximização ou minimização.

- Função Objetivo Maximização: tem-se como objetivo atingir o maior valor possível. Normalmente encontra-se a função Maximização em problemas onde se pretende aumentar o lucro ou descobrir caminhos onde se possa atingir um fluxo maior, por exemplo.
- Função Objetivo Minimização: tem-se como objetivo reduzir ao máximo o valor encontrado. Comumente encontrada em problemas de minimização de custos ou problemas de menor caminho, por exemplo.

Cabe ressaltar que uma vez encontrado o resultado ótimo, é impossível encontrar outro resultado melhor que o mesmo. Podem-se encontrar outras soluções tão boas quanto, até mesmo infinitas soluções, mas nenhuma delas será melhor.

Para atingir o objetivo, seja ele de maximização ou minimização da Função Objetivo, são definidas as restrições encontradas no problema. As restrições surgem da escassez ou então excesso de recursos. Será através das restrições que será determinada qual a decisão a ser tomada, como por exemplo, caminho mais curto, caminho com maior fluxo, determinado tipo de matéria-prima a ser utilizada em maior escala, entre outros.

Os recursos citados acima se tornam então as variáveis de decisão. Essas variáveis aparecem tanto na definição da função objetivo como nas restrições. De acordo com Colin (2007), essas são as variáveis que são utilizadas no modelo que podem ser controladas pelo tomador de decisão que, desta forma, procura a solução do problema testando diversos valores para elas.

3 ESTUDO DE CASO

Com o objetivo de aplicar os conhecimentos da Pesquisa operacional, analisou-se um problema real que pode ser otimizado através da modelagem e resolução baseada em Programação linear.

3.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Em muitas disciplinas dos cursos de Engenharias, o uso de *softwares* é indispensável para o aprendizado (SANTOS et al, 2005). Eles auxiliam na resolução e formulação de problemas, fazendo com que a teoria seja mais facilmente posta em prática e resultados sejam obtidos de forma mais rápida e interessante.

O mercado de trabalho valoriza o conhecimento e habilidade na utilização de *softwares*. Assim, os alunos de graduação em Engenharias se tornam profissionais mais qualificados para o mercado atual (SANTOS et al, 2005).

Através de uma consulta feita com professores de diversas disciplinas do curso de engenharia, elaborou-se uma lista onde foram considerados nove *softwares*, são eles: Gams, Vensin, Lingo, Stata, Transyt 15, Aimsun Professional, Excel, Transcad Base e Arena. O nome do *software* seguido de seus respectivo preço e número de alunos que seriam atingidos, número este calculado de acordo com o número de estudantes que cursam a respectiva disciplina, foram organizados conforme consta na Tabela 1, apresentada a seguir.

Tabela 1 - *Softwares*, custos e número de alunos beneficiados.

Softwares	Custo	Disciplinas que o utilizam	Total de licenças (alunos)	Valor Total	Compra?
GAMS	\$640	Programação Linear, Programação Não-Linear, Otimização Discreta, Roteirização e Programação de Veículos	80	R\$ 131.706,88	1
VENSIN	\$1965 (5 licenças) + \$75 (cada licença a mais)	Processos Estocásticos e Simulação	20	R\$ 7.948,72	1
LINGO	\$245	Programação Linear, Programação Não-Linear, Otimização	60	R\$ 37.814,28	1
STATA	\$695 cada 10 licenças	Pesquisa Operacional / Matemática / Estatística em geral	420	R\$ 75.088,36	1
TRANSYT 15	R\$ 7.000,00	Não informado pelo professor	60	R\$ 420.000,00	0
AIMSUM PROFESSIONAL	R\$ 4.500,00	Não informado pelo professor	60	R\$ 270.000,00	1
EXCEL	R\$ 309,00	Pesquisa Operacional / Matemática / Estatística em geral	420	R\$ 129.780,00	1
TRANSCAD BASE	\$6000	Simulação em transporte	60	R\$ 926.064,00	0
ARENA	R\$ -	Processos Estocásticos e Simulação	20	R\$ -	1

Fonte: Os autores

Os custos de alguns *softwares* (Gams, Vensin, Lingo, Stata, Transcad Base) foram obtidos em dólares estadunidenses (US\$), convertidos para Reais (R\$) usando o fator de conversão US\$ 1 = R\$2,5724. O *software* Arena consta sem valor, visto que pode ser utilizada sua versão gratuita disponível. A razão pelos *softwares* Stata e Excel apresentarem um número consideravelmente maior de alunos atingidos que os demais (Tabela 1) é que os mesmos também podem ser utilizados nas disciplinas de Estatística e Probabilidade para Engenharia.

A função objetivo do modelo foi definida como maximizar o número de alunos atendidos, sendo que a restrição imposta foi que o valor disponível para compra dos *softwares* seria de R\$600.000,00. Para a modelagem e resolução do problema, fez-se o uso da planilha eletrônica da MS-Excel® juntamente com a ferramenta Solver que é integrada à planilha. O mesmo problema foi modelado no *software* Lingo 15.0, para que se pudessem observar possíveis soluções diferentes.

3.2. O MODELO MATEMÁTICO

Considerando-se n_j o número de alunos atendido pelo *software* j , c_j o custo de cada *software* j , para $j = 1, \dots, 9$, e definindo-se as variáveis binárias

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{se o software } j \text{ for comprado} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}, j = 1, \dots, 9$$

o modelo matemático para o problema considerado pode ser assim representado:

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^9 n_j x_j \quad (1)$$

$$\text{sa: } \sum_{j=1}^9 c_j x_j \leq 600000 \quad (2)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (3)$$

A Equação (1) define a função objetivo de maximização da quantidade de alunos atendidos, a Equação (2) define o limite a ser investido e a Equação (3) indica o caráter binário das variáveis.

3.3 SOLUÇÃO EM EXCEL

A modelagem do problema em Excel é mostrada na Figura 1.

Figura 1 - Modelagem do Problema em Excel.

	A	B	C	D	E	F	G	H
2								
3								
4	Softwares	Custo	Disciplinas que o utilizam	Total de licenças (alunos)	Valor Total	Compra?		
5	GAMS	\$640	Programação Linear, Programação Não-Linear, Otimização Discreta, Roteirização e Programação de Veículos	80	R\$ 131.706,88		R\$ -	
6	VENSIN	\$1965 (5 licenças) + \$75 (cada licença a mais)	Processos Estocásticos e Simulação	20	R\$ 7.948,72		R\$ -	
7	LINGO	\$245	Programação Linear, Programação Não-Linear, Otimização	60	R\$ 37.614,28		R\$ -	
8	STATA	\$695 cada 10 licenças	Pesquisa Operacional / Matemática / Estatística em geral	420	R\$ 75.088,36		R\$ -	
9	TRANSYT 15	R\$ 7.000,00	Não informado pelo professor	60	R\$ 420.000,00		R\$ -	
10	AIMSUM PROFESSIONAL	R\$ 4.500,00	Não informado pelo professor	60	R\$ 270.000,00		R\$ -	
11	EXCEL	R\$ 309,00	Pesquisa Operacional / Matemática / Estatística em geral	420	R\$ 129.780,00		R\$ -	
12	TRANSCAD BASE	\$6000	Simulação em transporte	60	R\$ 926.064,00		R\$ -	
13	ARENA	R\$ -	Processos Estocásticos e Simulação	20	R\$ -		R\$ -	
14					Total de softwares:	0		
15								
16								
17								
18								
19								
20								

Total de Alunos Atendidos	0
Custo Total	R\$ -

Fonte: Os autores

Como demonstrado na Figura 1, para a resolução do problema, fez-se o uso da ferramenta solver, definida como uma ferramenta de teste de hipóteses, onde pode-se encontrar um valor ótimo (máximo ou mínimo) para uma determinada célula selecionada sujeita a restrições contidas em outras células. No solver foi inserido como objetivo a maximização da célula referente ao Total de Alunos Atendidos, que representa a soma do número de licenças compradas por cada *software* que será adquirido.

O custo de cada *software* foi fornecido por cada professor ao ser perguntado a respeito de quais *softwares* auxiliariam no aprendizado da disciplina.

Dentre as restrições, aparecem que o custo total deve ser menor ou igual a R\$600.000,00 e as células da coluna de Compra foram definidas como binárias, sendo que o valor 1 representa a aquisição e o valor 0 que o *software* não será comprado.

Inseridos todos os valores e restrições gerou-se a solução ótima, que foi de 1020 alunos atendidos, e um Custo Total de R\$ 382.338,23. Os parâmetros inseridos no solver são apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Parâmetros do Solver

The image shows the 'Parâmetros do Solver' (Solver Parameters) dialog box in Excel. The 'Definir Objetivo:' (Set Objective) field contains '\$C\$17'. The 'Para:' (To) section has three radio buttons: 'Máx.' (selected), 'Mín.' (unselected), and 'Valor de:' (unselected) with a value of '0'. The 'Alterando Células Variáveis:' (Changing Variable Cells) field contains '\$F\$5:\$F\$13'. The 'Sujeito às Restrições:' (Subject to the Constraints) list contains two constraints: '\$C\$19 <= 600000' and '\$F\$5:\$F\$13 = binário'. To the right of this list are buttons: 'Adicionar', 'Alterar', 'Excluir', 'Redefinir Tudo', and 'Carregar/Salvar'. Below the constraints list is a checked checkbox 'Tornar Variáveis Irrestritas Não Negativas' (Make Unconstrained Variables Non-Negative). The 'Selecionar um Método de Solução:' (Select a Solving Method) dropdown is set to 'LP Simplex'. To the right of this dropdown is an 'Opções' (Options) button. At the bottom of the dialog is a text box titled 'Método de Solução' (Solving Method) with the following text: 'Selecione o mecanismo GRG Não Linear para Problemas do Solver suaves e não lineares. Selecione o mecanismo LP Simplex para Problemas do Solver lineares. Selecione o mecanismo Evolutionary para problemas do Solver não suaves.' At the very bottom of the dialog are three buttons: 'Ajuda' (Help), 'Resolver' (Solve), and 'Fechar' (Close).

Fonte: Os autores.

A Figura 3 apresenta a planilha em Excel já com a solução ótima obtida pelo solver.

Figura 3 - Solução ótima obtida.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3										
4	Softwares	Custo	Disciplinas que o utilizam	Total de licenças (alunos)	Valor Total	Compra?				
5	GAMS	\$640	Programação Linear, Programação Não-Linear, Otimização Discreta, Roteirização e Programação de Veículos	80	R\$ 131.706,88	1	R\$ 131.706,88			
6	VENSIN	\$1965 (5 licenças) + \$75 (cada licença a mais)	Processos Estocásticos e Simulação	20	R\$ 7.948,72	1	R\$ 7.948,72			
7	LINGO	\$245	Programação Linear, Programação Não-Linear, Otimização	60	R\$ 37.814,28	1	R\$ 37.814,28			
8	STATA	\$695 cada 10 licenças	Pesquisa Operacional / Matemática / Estatística em geral	420	R\$ 75.088,36	1	R\$ 75.088,36			
9	TRANSYT 15	R\$ 7.000,00	Não informado pelo professor	60	R\$ 420.000,00	0	R\$ -			
10	AIMSUM PROFESSIONAL	R\$ 4.500,00	Não informado pelo professor	60	R\$ 270.000,00	0	R\$ -			
11	EXCEL	R\$ 309,00	Pesquisa Operacional / Matemática / Estatística em geral	420	R\$ 129.780,00	1	R\$ 129.780,00			
12	TRANSCAD BASE	\$6000	Simulação em transporte	60	R\$ 326.064,00	0	R\$ -			
13	ARENA	R\$ -	Processos Estocásticos e Simulação	20	R\$ -	1	R\$ -			
14					Total de softwares:	6				
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										

Objetivo:
Restrição:

\$1 = R\$2.5724
 VALOR EM 29/IV/2014

* foram consideradas turmas de Estatística e Probabilidade para Engenharia da Segunda Fase

* foram consideradas turmas de Estatística e Probabilidade para Engenharia da Segunda Fase

** Versão gratuita disponível para download

Total de Alunos Atendidos	1020
Custo Total	R\$ 382.338,23

Fonte: os Autores.

3.4 SOLUÇÃO EM LINGO

Na solução em LINGO, foram definidas nove variáveis, sendo cada uma delas referente a um dos *softwares* do presente estudo. As variáveis foram definidas com binárias pelo comando @BIN e inseridas na função objetivo, que representava a maximização da soma de todas elas.

A restrição imposta foi que a soma das variáveis com o produto de seu custo total (valor de uma licença × número de licenças) deveria ser menor ou igual a R\$600.0000. A modelagem do problema no LINGO é apresentada na Figura 4 e a solução encontrada da Figura 5.

Figura 4 – Modelagem em LINGO.

```

MAX = GAMS + VENSIN + LINGO + STATA
+ TRANSYT + AIMSUM + EXCEL + TRANSCAD + ARENA;           !FUNÇÃO OBJETIVO;

640*80*2.5724*GAMS + (1965+75*15)*2.5724*VENSIN
+ 245*60*2.5724*LINGO + 42*695*2.5724*STATA +
60*7000*TRANSYT + 60*4500*AIMSUM + 420*309*EXCEL           !RESTRIÇÃO;
+ 60*6000*2.5724*TRANSCAD + 20*0*ARENA <= 600000;

@BIN(GAMS);
@BIN(VENSIN);
@BIN(LINGO);
@BIN(STATA);
@BIN(TRANSYT);                                           !DEFINIÇÃO DE VARIÁVEIS BINÁRIAS;
@BIN(AIMSUM);
@BIN(EXCEL);
@BIN(TRANSCAD);
@BIN(ARENA);

```

11



Católica de
Santa Catarina
Centro Universitário

Fonte: Os Autores.

Figura 5 – Solução ótima encontrada pelo LINGO.

Global optimal solution found.		
Objective value:	6.000000	
Objective bound:	6.000000	
Infeasibilities:	0.000000	
Extended solver steps:	0	
Total solver iterations:	0	
Elapsed runtime seconds:	0.04	
Model Class:	PILP	
Total variables:	9	
Nonlinear variables:	0	
Integer variables:	9	
Total constraints:	2	
Nonlinear constraints:	0	
Total nonzeros:	17	
Nonlinear nonzeros:	0	
Variable	Value	Reduced Cost
GAMS	1.000000	-1.000000
VENSIN	1.000000	-1.000000
LINGO	1.000000	-1.000000
STATA	1.000000	-1.000000
TRANSYT	0.000000	-1.000000
AIMSUM	0.000000	-1.000000
EXCEL	1.000000	-1.000000
TRANSCAD	0.000000	-1.000000
ARENA	1.000000	-1.000000
Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	6.000000	1.000000
2	217661.8	0.000000

Fonte: Os Autores.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos permitem concluir que com o investimento de R\$600.000,00 será possível atender a 1020 alunos com as compras de softwares. O total gasto com a aquisição será de R\$382.338,23. Percebe-se que tanto o Excel como o Lingo sugerem o mesmo tipo de solução: a compra dos softwares Gams, Vensim, Lingo, Stata, Excel e Arena.

A aquisição do Arena era óbvia visto que o mesmo pode ser adquirido em sua versão gratuita. Quanto ao Excel e ao Stata podia-se supor com grandes chances que apresentariam um resultado positivo quanto a compra, visto que ambos apresentam uma grande quantidade de disciplinas em que podem ser utilizados, totalizando um total de 840 alunos a serem atendidos.

Quanto aos dois programas utilizados, verificou-se que, embora ambos tenham alcançado o mesmo resultado, o Solver do Excel se demonstrou mais didático e prático para a modelagem do problema e para a análise dos resultados. Com ele a verificação de valores gastos se tornou mais fácil de ser observada e a formulação e disposição de informações mais clara e compreensível.

Uma última consideração a respeito do resultado obtido é que com o limitante de R\$600.000,00 e o objetivo de atender o maior número de alunos, se fossem feitas as aquisições sugeridas, ocorreria uma sobra de R\$217.661,77, tal valor poderia ser empregado na compra de novas máquinas ou ser usado de qualquer outra forma pelo departamento responsável, ou até mesmo reduzido do orçamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho propôs a utilização da ferramenta solver do Microsoft Excel e do LINGO no ensino de Pesquisa operacional na engenharia por meio de uma aplicação na determinação de melhor opção de compra de softwares com limitação de recursos.

O objetivo da aprendizagem em solução de problemas na engenharia através de uma aplicação foi alcançado, mostrando assim, a importância do desenvolvimento de estudos de caso no ensino de pesquisa operacional, em particular, da programação linear nas engenharias.

A ideia apresentada foi capaz de inserir o aluno em uma situação onde decisões precisam ser tomadas com limitações de recursos disponíveis e maximização do número de pessoas beneficiadas e onde nem todas as informações e variáveis estão disponíveis. Desta forma, pode-se afirmar que a aprendizagem em solução de problemas contribuiu com o aprendizado nas engenharias, no sentido de incluir também aspectos de tomada de decisão em sua formação.

Como verificou-se com o exemplo prático apresentado neste estudo, a pesquisa operacional e a modelagem de problemas na Engenharia e dentro das organizações é, sem sombra de dúvidas, uma boa maneira de solucionar tais problemas, podendo-se obter resultados bastante satisfatórios. Dentro do mercado, tornam-se diferenciais

competitivos, reduzindo significativamente custos de produção, tornando o produto ou serviço final mais atrativo.

Como proposta futura para este trabalho, seguindo a ideia de utilização de ferramentas no ensino de pesquisa operacional, propõe-se uma análise mais complexa, envolvendo outras variáveis não somente quantitativas, mas também de ordem qualitativas na avaliação.

6 REFERÊNCIAS

COLIN, E. C. **Pesquisa operacional: 170 Aplicações em Estratégia, Finanças, Logística, Produção, Marketing e Vendas.** Rio de Janeiro: LTC, 2013.

COSTA, F. P.; SOUZA, M. J. F.; PINTO, L. R. **Um modelo de programação matemática para alocação estática de caminhões visando ao atendimento de metas de produção e qualidade.** Ouro Preto, 2005.

FERREIRA, F. M.; BACHEGA, S. J. **Programação linear:** Um estudo de caso sobre os custos de transporte em uma empresa do setor de confecções de Catalão-GO. Belo Horizonte, 2011.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa operacional.** 9. Ed. São Paulo: Mcgraw Hill, 2013.

OLIVEIRA, B.; SALVADOR, R.; SILVA, V. M. D.; **Otimização do Problema de Corte Unidimensional:** Um estudo de caso na indústria papeleira. 2013.

SANTOS, Y. B. I.; MENDES, S. B.; PELAES, T. S. **O ensino de ferramentas computacionais aplicadas a Engenharia de Produção: um método diferenciado.** Anais do XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção. Porto Alegre, 2005.

SELONG, L. M.; KRIPKA, R. M. L. Otimização de roteiros: Estudo de caso de uma distribuidora de ferro de Passo Fundo/RS para a região. **Revista CIATEC – UPF**, vol. 1(1), p.p. 14-31, 2009.

Sobre os autores:

Christiane Wenck Nogueira Fernandes possui Graduação em Matemática pela Universidade Federal de Santa Catarina, Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina E Doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é Professora Adjunto III do Centro de Engenharias da Mobilidade da Universidade Federal de Santa Catarina. Tem experiência na área de Engenharia de Transportes, Pesquisa Operacional e Logística. Participante do Grupo de Pesquisa GIT - Grupo de Infraestrutura e Transportes.

Silvia Lopes de Sena Tagliaenha é Professora Adjunto IV da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Engenharias da Mobilidade, Campus Joinville, na qual coordena o Grupo de Pesquisa GIT Grupo de Infraestrutura e Transportes e o Curso Bacharelado Interdisciplinar em Mobilidade. Possui Licenciatura em Matemática, com habilitação em Física UNESP - Faculdade de Ciências e Tecnologia - Júlio de Mesquita Filho (1998), Mestrado em Matemática Pura (Análise) - ICMC-USP Universidade de São Paulo - São Carlos (2001) e Doutorado em Engenharia Elétrica (Automação) - UNESP - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (2008). Atua principalmente nos seguintes temas: Análise de Modelos, Pesquisa Operacional, Otimização, Planejamento da Expansão de Sistemas de Transmissão de Energia Elétrica, Carregamento de Contêineres, Logística em Transportes e Mobilidade Urbana.

Wyktor Stachelski é Acadêmico do curso de Engenharia de Transportes e Logística do Centro de Engenharias da Mobilidade da Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é aluno de Iniciação Científica do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico -CNPq.

NITRETAÇÃO A PLASMA EM AÇO FERRAMENTA

Adelmo Selhorst Junior¹, Julio César Sagás^{1,2}, Diego Alexandre Duarte^{1*}

¹ Centro Universitário Católica de Santa Catarina, Campus Joinville, Rua Visconde de Taunay, 427, Centro, 89203-005, Joinville, SC

² Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC/CCT, Rua Paulo Malschitzki, s/n, Campus Universitário Prof. Avelino Marcante, Bairro Zona Industrial Norte, 89219-710, Joinville, SC

Aços ferramenta são aços utilizados, quase que exclusivamente, como materiais de construção para ferramentas mecânicas. Desta categoria de aço, são exigidas algumas qualidades específicas, que os tornam adequados para este uso. Conforme o tipo de utilização é exigido alta dureza, tenacidade ao impacto, insensibilidade a mudanças de temperatura, resistência à perda do fio e a abrasão, dentre outras qualidades. A nitretação, ou formação de nitretos na superfície de certos aços, cria uma camada superficial não só de dureza elevada como também de alta resistência ao desgaste. Desta forma a nitretação é uma opção de tratamento para melhoria das propriedades superficiais de aços ferramenta. Uma das grandes vantagens da nitretação sobre os outros processos termoquímicos de endurecimento superficial está associado ao fato dela ser levada a efeito numa faixa relativamente baixa de temperaturas – entre 500°C e 550°C (no máximo 650°C) – o que, juntamente com a ausência de qualquer outro tratamento superior, reduz ao mínimo as possibilidades de empenamento das peças. As aplicações de nitretação em aço ferramenta mais comuns incluem engrenagens, virabrequins, eixos de cames, roletes, parafusos de extrusão, ferramentas de peças fundidas com matrizes à pressão, matrizes de forjamento, ferramentas de conformação a frio, bicos injetores e ferramentas de moldagem plástica, eixos e peças da embreagem e do motor. A nitretação a plasma é um tratamento termoquímico que é realizado usando uma mistura gasosa contendo nitrogênio. A peça é utilizada como catodo de uma descarga elétrica, gerando um plasma ao redor das peças, levando a um intenso bombardeamento iônico. Na superfície (e acima dela) nitretos ricos em nitrogênio são formados e se decompõem, liberando nitrogênio ativo na superfície, que se difundem em direção ao interior da peça. A presença do plasma permite que o processo de nitretação se dê a temperaturas menores e sem a produção de resíduos. O processo de nitretação a plasma depende da tensão aplicada a peça e da densidade de corrente sobre a

* e-mail: diegoalexandreduarte@gmail.com

mesma, o que é determinado em grande parte pela densidade eletrônica. Neste trabalho, pretende-se investigar o efeito que uma fonte adicional de elétrons (um emissor termiônico) tem sobre o processo de nitretação e o efeito final da peça. Na primeira etapa do trabalho, uma revisão bibliográfica foi feita, assim como o projeto das alterações necessárias no reator e um treinamento para operação do mesmo.

Palavras-chave: Nitretação; plasma; reator; nitrogênio; hidrogênio; oxigênio.

NITRIDING PLASMA IN STEEL TOOL

Tool steels are steels used almost exclusively as building materials for machine tools. This steel grade, are required some special qualities which make them suitable for this use. Depending on the type of use required high hardness, impact resistance, insensitivity to temperature changes, loss of yarn strength and abrasion, among other qualities. The nitriding or nitride formation on the surface of certain steels, creates not only a surface layer of high hardness as well as high wear resistance. Thus nitriding is a treatment option for improving the surface properties of tool steels. One of the great advantages of nitriding over the other thermochemical processes of hardening is associated with the fact that it is carried out at a relatively low temperature range - between 500 ° C and 550 ° C (max 650 ° C) - which, along with the absence of any other superior treatment, minimizes the chance of warping of the parts. The application nitriding most common tool steel include gears, crankshafts, camshafts, rollers, extrusion screws, castings with arrays of pressure tools, forging dies, forming tools cold, nozzles and plastic molding tools , axles and clutch and engine parts. The plasma nitriding is a thermochemical treatment is performed using a gas mixture containing nitrogen. The part is used as the cathode an electric discharge, generating a plasma around the parts, leading to an intense ion bombardment. On the surface (and above it) nitrides rich in nitrogen are formed and decompose, releasing active nitrogen on the surface, that diffuse toward the inside of the piece. The presence allows the plasma nitriding process occurs at lower temperatures and without producing waste. The plasma nitriding process depends on the applied voltage and the piece of current density about the same, which is largely determined by the electron density. In this work, we intend to investigate the effect that an additional source of electrons (a thermionic emitter) has on the nitridation process and the final end of the piece. In the first stage of the work, a literature review was made, as well as the design of the necessary changes in reactor operation and training for the same.

Keywords: Nitriding; plasma; reactor; nitrogen; hydrogen; oxygen.

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento das indústrias em todo o mundo, o desenvolvimento de novos tipos de aços foi necessário para se adaptarem as novas exigências do mercado. Dentre os diversos tipos de aço se destacam os aços ferramenta. O aço ferramenta é basicamente qualquer aço usado para a fabricação de ferramentas de corte ou conformação de materiais. São produzidos e processados para atingir um elevado padrão de qualidade. Este tipo de aço se caracteriza pela elevada dureza e resistência à abrasão. A maior parte dos aços ferramenta é forjada. Outra parte é produzida por fundição de precisão ou por metalurgia do pó.

O processo de nitretação a plasma consiste no endurecimento da camada superficial de uma peça através da difusão de nitrogênio. Em uma mistura de gases contendo nitrogênio uma tensão é aplicada para que o plasma gerado se estabilize ao redor da peça. A nitretação a plasma é um processo termoquímico que proporciona uma alta dureza de superfície, promovendo alta resistência ao desgaste e à corrosão. Contudo, a vantagem de aplicar a nitretação a plasma para os aços ferramentas é o fato de esse processo ser feito a uma faixa de temperatura relativamente baixa, entre 500 °C e 650 °C. Este procedimento impede que as propriedades dos aços sejam alteradas bruscamente.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 AÇOS FERRAMENTA

É notório que a primeira utilização do ferro e do aço por um ser humano foi na forma de ferramenta e a arte de endurecer o aço pelo seu aquecimento a elevadas temperaturas e subsequente resfriamento em água é tão antiga, que a data da descoberta desse processo de endurecimento não pode ser apontada com absoluta certeza (CHIAVERINI, 1990). Aços ferramenta são aços utilizados, quase que exclusivamente, como materiais de construção para ferramentas. São utilizados para a usinagem, com ou sem formação de cavacos, de peças no estado frio ou quente. Deles são exigidas algumas qualidades específicas, que os tornam adequados para este fim. Conforme o tipo de utilização exigem-se: alta dureza, resistência a

abrasão, tenacidade ao impacto, resistência à perda de fio, resistência e/ou dureza a quente, insensibilidade a frequentes mudanças de temperatura, ausência de distorções devido a têmpera e outras qualidades mais (HEINRICH, 1975).

Dentre as inúmeras características dos aços ferramentas podemos citar as seguintes: dureza a temperatura ambiente (consiste em que a dureza da ferramenta deve ser superior a dureza da peça a ser exercida a ação da ferramenta), temperabilidade (capacidade de endurecer o aço), resistência ao desgaste (característica do aço de resistir ao desgaste abrasivo e ou natural), tenacidade (capacidade do material de absorver elevada quantidade de esforço sem se romper), resistência mecânica (capacidade de o aço ferramenta suportar elevados esforços estáticos sem apresentar falhas ou deformação), dureza a quente (propriedade que consiste de o aço suportar elevadas temperaturas) e usinabilidade (está ligada a facilidade de corte do material).

2.2 APLICAÇÃO DA NITRETAÇÃO EM AÇOS FERRAMENTA

Os aços para ferramentas e matrizes são classificados em diversos grupos, conforme suas características e aplicações. A maioria desses aços possui elementos de liga e exige cuidados especiais no seu tratamento térmico. As temperaturas empregadas, nessas operações, abrangem a mais larga faixa entre todos os produtos metalúrgicos, desde temperaturas superiores a 1250 °C, no aquecimento, até eventualmente, temperaturas abaixo de zero no resfriamento (CHIAVERINI, 2008).

A nitretação, ou formação de nitretos de natureza complexa na superfície de certos aços, origina uma camada superficial não só de dureza excepcionalmente elevada como também de alta resistência ao desgaste, capaz de reter a dureza a temperaturas até da ordem de 500 °C e ainda resiste a certos tipos de corrosão. Uma das grandes vantagens da nitretação sobre os outros processos termoquímicos de endurecimento superficial reside no fato dela ser levada a efeito numa faixa relativamente baixa de temperaturas – entre 500 °C e 550 °C (no máximo 650 °C) – o que, aliado a ausência de qualquer tratamento superior, reduz ao mínimo as probabilidades de empenamento das peças. Entretanto, os aços clássicos para nitretação são especiais e, como tais, de alto preço e os tempos para nitretação são muito longos, de modo que este processo, para produção em larga escala, exige equipamento de vulto. Verifica-se, igualmente, certo crescimento do aço na nitretação, o qual, contudo, pode ser controlado perfeitamente e descontado no projeto e dimensionamento definitivo das peças (CHIAVERINI, 1990).

As aplicações de nitretação em aço ferramenta mais comuns incluem engrenagens, virabrequins, eixos de cames, roletes, parafusos de extrusão, ferramentas de peças fundidas com matrizes à pressão, matrizes de forjamento, ferramentas de conformação a frio, bicos injetores e ferramentas de moldagem plástica, eixos e peças da embreagem e do motor.

2.3 NITRETAÇÃO A PLASMA

A nitretação a plasma é um moderno tratamento termoquímico que é realizado usando uma mistura contendo nitrogênio e, usualmente, hidrogênio (podendo conter também argônio ou metano). Nesse processo de baixa pressão, uma tensão é aplicada entre a peça e a parede do forno. Uma descarga luminescente (gás ionizado) é gerada ao redor das peças. Na área da superfície que é diretamente bombardeada por íons, nitretos ricos em nitrogênio são formados e se decompõem, liberando nitrogênio ativo na superfície. Devido a esse mecanismo, a blindagem é facilmente realizada cobrindo-se as áreas de interesse com uma manta metálica. A nitretação a plasma permite a modificação da superfície de acordo com as propriedades desejadas. Camadas e perfis de dureza feitos sob medida podem ser atendidos ao se personalizar a mistura gasosa: desde uma superfície sem camada composta com baixas quantidades de hidrogênio de até 20 μm de espessura até uma camada composta com altas quantidades de nitrogênio. A grande faixa de temperatura aplicável possibilita uma grande gama de aplicações.

Os resultados são superfícies muito duras, com pouca ou nenhuma camada branca (a camada branca é quebradiça e pouco tenaz, provocando trincas prematuras quando submetidas a altas pressões e cargas dinâmicas.), com acabamento mais fosco. Além disso, as peças apresentam muito menor empenamento que as nitretadas a gás, devido à baixa temperatura do processo (CHIAVERINI, 2008).

Apesar do processo ter sido desenvolvido em 1932, somente recentemente, tem sido praticado em maior escala. Aparentemente, a nova técnica dá como resultado melhores propriedades de resistência ao desgaste e resistência à fadiga do que os processos de nitretação convencionais (CHIAVERINI, 1990).

2.4 PLASMA

Plasma é uma classe particular de gás ionizado. O termo foi utilizado para descrever descargas elétricas em gases gerados na faixa de descargas luminosas. Assim como nos vasos sanguíneos a circulação de glóbulos vermelhos e glóbulos brancos se dá através do plasma

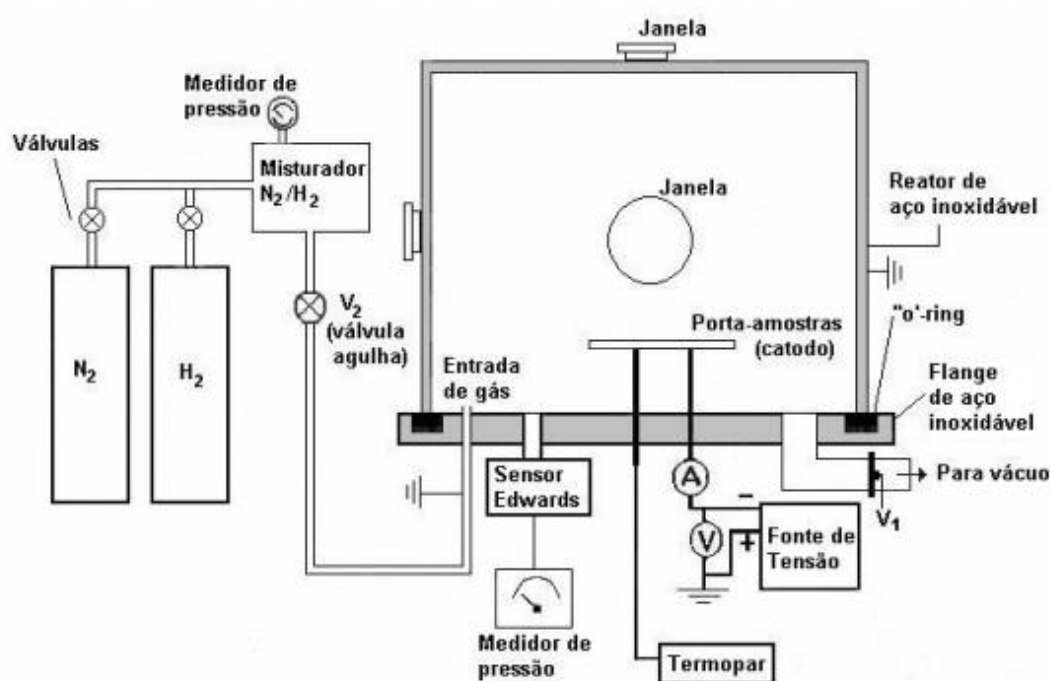
sanguíneo, em tubos de vácuo o transporte de elétrons e íons pode ser facilitado quando o gás rarefeito se encontra parcial ou totalmente ionizado (no estado de plasma). Os estudos iniciaram-se a partir de pesquisas visando prolongar a vida útil de filamentos de tungstênio em lâmpadas a vácuo (GOBBI, Vagner João, 2009).

Um importante parâmetro do plasma é o grau de ionização, que é a fração das espécies ionizadas em relação ao total de partículas. Plasma com um grau de ionização muito menor que a unidade é dito fracamente ionizado. Este tipo de plasma, também denominado de plasma frio, é utilizado no processo da nitretação iônica (plasma). Em geral as características do plasma diferem-se dependendo dos átomos e moléculas constituintes, assim como da densidade eletrônica, temperatura de elétrons e grau de ionização.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desta pesquisa foi usado o reator de nitretação a plasma que se encontra no Laboratório de Física da UDESC Joinville, o mesmo está montado conforme a figura 01:

Figura 01



Modelo de montagem do reator que se encontra na UDESC.

O reator consiste em uma câmara de aço inoxidável com três janelas para observação (duas laterais e uma superior). Como o processo é realizado em baixa pressão, o sistema é vedado e conectado a um de vácuo rotativa de modo a obter pressões da ordem de 10^{-2} mbar. A

entrada de gases é controlada por medidores de vazão do tipo térmico (um para cada tipo de gás). A pressão é controlada por um medidor do tipo Pirani.

Para a geração do plasma o sistema conta com duas opções de fonte de potência: uma fonte de corrente contínua (1000 V, 2 A) e um fonte Pinnacle Plus (800 V, 5 kW) que pode operar tanto em corrente contínua quanto pulsando até a faixa de kHz.

O principal parâmetro do processo é a temperatura, medida por um termopar do tipo K. O termopar é inserido dentro de uma amostra de modo a ficar o mais próximo possível da superfície do metal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TREINAMENTO

Para a compreensão das potencialidades do sistema e do processo, a primeira atividade realizada foi uma sequência de treinamento visando a obtenção da prática nas diferentes etapas do processo. O treinamento consistia em realizar testes em amostras aleatórias de metais onde foram aplicados processos de limpeza, de nitretação e oxidação. Foi estabelecida, com base em teste feitos anteriormente, uma temperatura de tratamento de 350 °C.

Antes da realização de qualquer tratamento é necessária a realização de uma limpeza da superfície das amostras de modo a retirar impurezas, gorduras e óxidos da superfície das mesmas. A limpeza pode ser realizada em atmosfera de argônio (onde a remoção dos contaminantes é devido ao impacto dos íons de Ar) ou de hidrogênio (onde a reação química do oxigênio, formando voláteis como H₂O contribui para a limpeza). Optou-se pela utilização de hidrogênio. Os seguintes parâmetros foram utilizados:

Gás: 100% H₂ (Hidrogênio)

Tensão: 467 V

Corrente: 130 mA

Pressão: 1,4 torr

Tempo: 30 minutos

Imediatamente após a limpeza, é dado início ao processo de nitretação, onde nitrogênio é acrescido a mistura. O alto teor de hidrogênio mantido na mistura se justifica pela necessidade da retirada dos óxidos da superfície (uma vez que há oxigênio residual na atmosfera) e sem a remoção deste não hpa como o nitrogênio difundir. Foram aplicados os seguintes parâmetros:

Gás: 90% H₂ (Hidrogênio) e 10% N₂ (Nitrogênio).

Tensão: 425 V

Corrente: 1 A

Pressão: 4,2 torr

Tempo: 120 minutos

Esta etapa é a aplicação dos conceitos sobre nitretação a plasma obtidos no decorrer da pesquisa. Uma tabela com os dados obtidos durante a rampa de aquecimento (tabela 01) foi criada, que consiste no aumento da temperatura até a marca de 350°C.

Tabela 01

t (min)	P (torr)	Vs (V)	Is (A)	T (°C)
0	5,5	354	1,2	78
2	5,6	423	1,2	236
4	1,7	424	0,4	220
6	3,5	424	0,6	266
8	4,1	425	0,6	306
10	4,1	424	0,6	330
12	4,8	424	0,6	341
14	4,7	424	0,6	345
16	4,6	423	0,6	348

P é a pressão, Vs é a tensão, Is a corrente e T a temperatura.

Com esses dados um gráfico (figura 02) foi construindo mostrando a evolução da temperatura durante a rampa de aquecimento (até a estabilização da temperatura de tratamento).

Figura 02

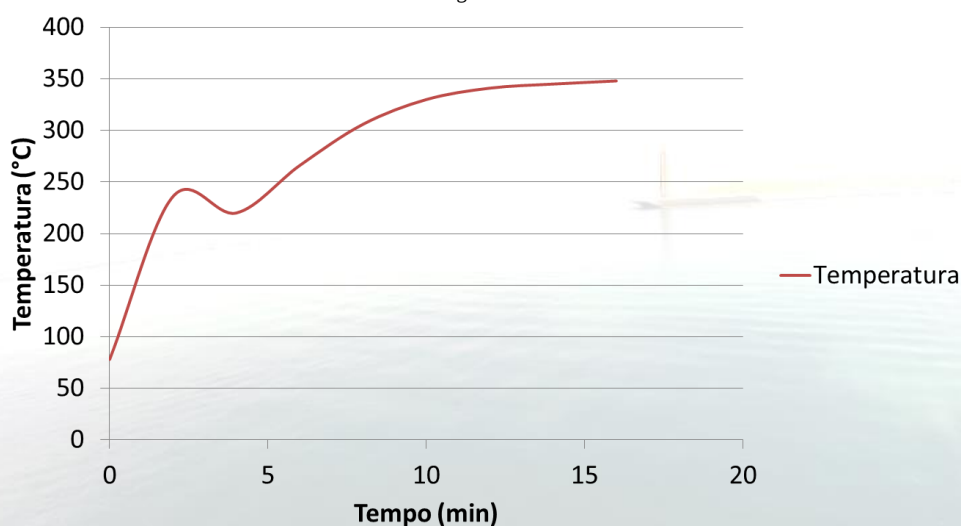


Gráfico no processo de nitretação para a rampa de aquecimento.

Analisando o gráfico, pode se notar que quando o processo passa pela faixa de 5 minutos, a temperatura sofre uma variação extremamente notável, então, considerando os dados obtidos anteriormente, a variação ocorreu quando a pressão teve uma queda brusca. Por fim, pode se afirmar que a variação da pressão afeta diretamente a temperatura.

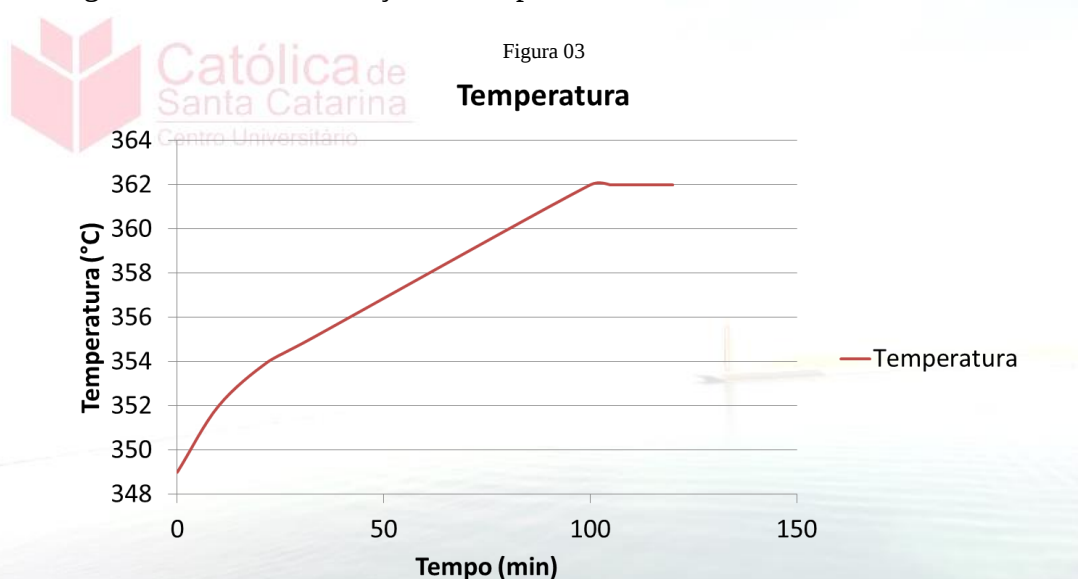
Quando a temperatura passou pela rampa de aquecimento e atingiu 350°C foi então começado a contabilizar o processo de nitretação, conforme a tabela 02.

Tabela 02

t (min)	P (torr)	Vs (V)	Is (A)	T (°C)
0	4,5	424	0,6	349
10	4,2	424	0,4	352
22	4,1	424	0,36	354
32	3,5	425	0,36	355
100	3,5	425	0,36	362
105	4,5	426	0,36	362
117	4,5	426	0,35	362
120	4,4	427	0,35	362

Dados obtidos durante o processo de nitretação após a rampa de aquecimento.

A figura 03 mostra a evolução da temperatura durante o tratamento.



Analisando o gráfico nota-se que quando o tempo atinge a faixa de 100 minutos a temperatura se estabiliza em 362°C, pode então se concluir, como discutido anteriormente, que esse fato ocorreu quando a pressão se estabilizou.

A última etapa do treinamento foi à aplicação de um processo de oxidação, outra possibilidade de tratamento que pode ser executada nesse reator. Esse processo tem a função de formar um óxido protetor contra a corrosão sobre a superfície do material, por exemplo, se o material a ser oxidado for titânio, o processo irá criar um óxido de titânio sobre o material. Essa etapa foi realizada apenas para fins de estudos, não irá ser aplicada diretamente sobre a pesquisa.

Para essa etapa, foram aplicados os seguintes parâmetros:

Gás: 100% O₂ (Oxigênio)

Tensão: 420 V

Corrente: 1 A

Pressão: 2 torr

Tempo: 15 minutos

Durante essa etapa foram obtidos dados do processo no decorrer da rampa de aquecimento, conforme a tabela 03.

Tabela 03

t (min)	P (torr)	Vs (V)	Is (A)	T (°C)
0	1,6	379	1,2	99
2	1,7	418	0,8	251
4	1,0	418	1,08	309
6	2,0	418	1,08	350

Dados do processo de oxidação durante a rampa de aquecimento.

Analisando os dados obtidos durante a rampa de aquecimento pode se notar que a elevação da temperatura foi mais rápida comparada aos outros processos treinados anteriormente, pode então se concluir que o oxigênio é mais reativo que os gases aplicados nos outros processos.

A partir dos dados rampa de aquecimento do processo de oxidação, foi construído um gráfico, conforme a figura 04.

Figura 04

Temperatura

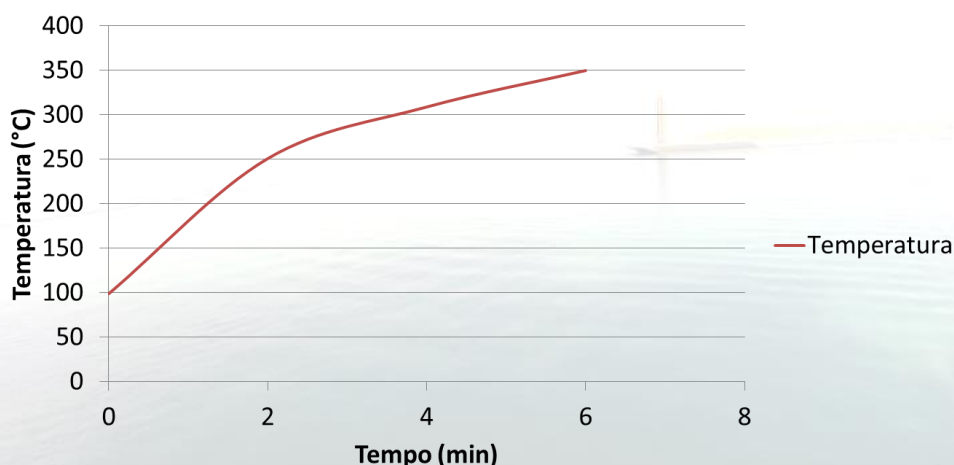


Gráfico da rampa de aquecimento para o processo de oxidação.

Após a temperatura ultrapassar a regra estabelecida, começou a ser contabilizado o tratamento de oxidação, conforme é mostrado na tabela 04.

t (min)	P (torr)	Vs (V)	Is (A)	T (°C)
0	1,8	418	0,9	372
5	1,0	419	0,59	340
10	0,6	419	0,43	318
15	0,5	418	0,2	299

Dados obtidos durante o tratamento de oxidação, após a rampa de aquecimento.

A figura 05 mostra os dados do tratamento de oxidação.

Figura 05

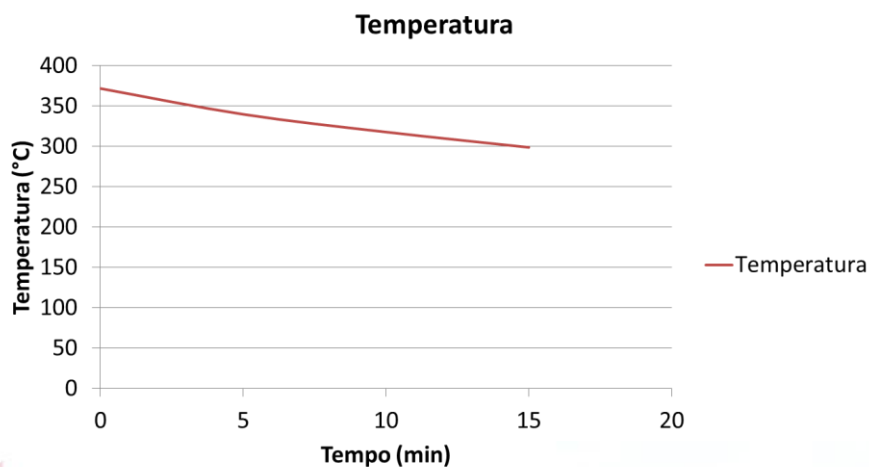


Gráfico da temperatura em função do tempo durante o tratamento de oxidação.

Analisando o gráfico, pode-se notar que a temperatura sofreu uma queda, com base nos dados obtidos anteriormente pode-se afirmar que esse fato ocorreu com a diminuição da pressão.

4.2 PASSADOR ELÉTRICO

Com a finalização da fase de treinamento, o reator teve que ser adaptado para um novo teste do projeto, onde foi introduzido um sistema triodo. Neste sistema um filamento de tungstênio é aquecido pelo aumento da corrente que atravessa o fio. Desta maneira, o filamento passa a emitir elétrons (efeito termiônico), sendo os elétrons emitidos diretamente para a superfície da amostra, sendo assim, o principal objetivo é proteger o circuito elétrico do reator onde os parâmetros para a nitretação (tensão e corrente) são muito altos.

Foram fabricadas duas flanges (figura 06 e figura 07) para introduzir o filamento dentro do reator onde as mesmas foram colocadas em uma das janelas do reator de nitretação (figura 08). Por fim o filamento é ligado a uma fonte para o controle da corrente para que os testes sejam feitos.

Figura 06

Figura 07

Figura 08



Flange superior; Flange inferior; Montagem do conjunto no reator.

Quando iniciado a etapa de testes, foi constatado que o passador elétrico do sistema estava em contato com os outros filamentos, com tal fatalidade deu se inicio a fabricação de um novo passador elétrico para o sistema triodo (figura 09 e figura 10).

Figura 09



Figura 10



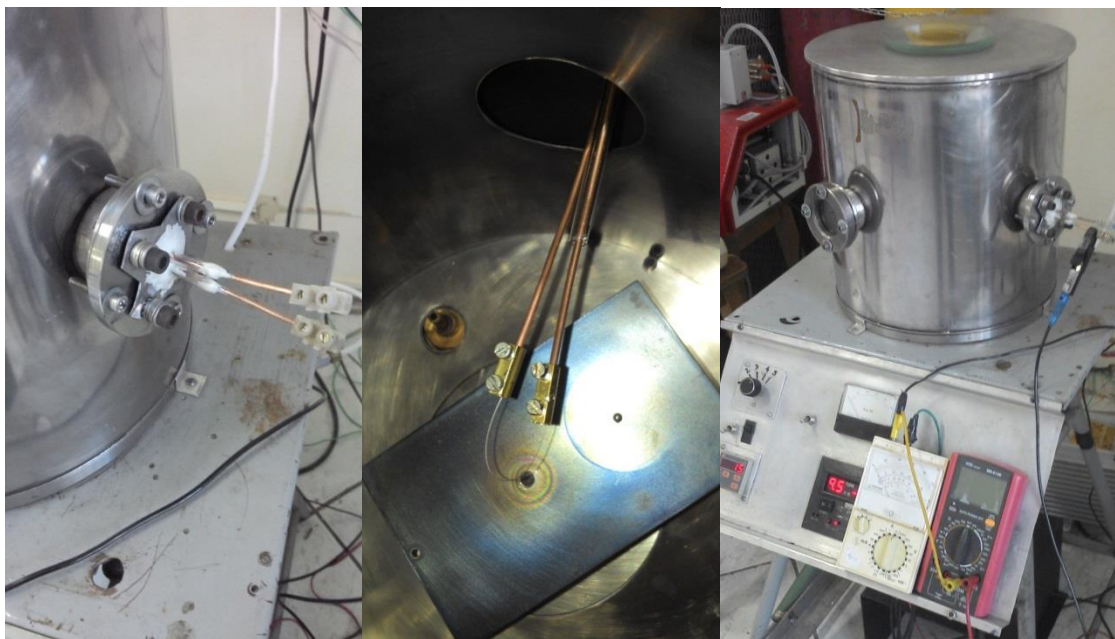
Novo passador elétrico; Montagem do novo passador elétrico no reator.

Após a instalação do novo passador elétrico do sistema triodo testes começaram a ser feitos, mas não foi possível concluir nenhum deles devido a polarização do sistema do reator, pois o mesmo está com o porta amostras polarizado negativamente e quando o sistema triodo é ativado o porta amostras do reator repele em vez de atrair os elétrons emitidos pelo filamento do sistema triodo. Contudo, pesquisas e buscas estão sendo feitas para conseguir alterar a polarização do reator e então concluir e aplicar a função que o sistema triodo fornece.

Figura 11

Figura 12

Figura 13



Montagem da flange no reator; Interior do reator com o sistema triodo instalado juntamente com o filamento de tungstênio; Montagem do setup do reator juntamente com o sistema triodo.

4.3 TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA

Por fim, foram feitos experimentos para analisar as curvas de transferência de energia. A quantidade de energia transferida para a superfície durante o tratamento é um parâmetro fundamental para determinar as propriedades do material tratado. Sabendo disto, optou-se pela realização de algumas medidas que fornecem dados sobre a transferência de energia em diferentes situações, de modo a orientar trabalhos futuros.

O experimento consiste em comparar a temperatura, pressão, corrente e tensão de três situações com parâmetros de gases distintos usando uma fonte externa ligada durante os primeiros trinta minutos e desligada durante os próximos trinta minutos. A potência do plasma foi mantida constante em 200 W durante todo o processo.

Para dar início aos experimentos, foi ajustada a pressão do reator para 5,0 torr. No primeiro experimento foi usado 100% de H_2 (equivalente a condição de limpeza), no segundo caso foi 90% de H_2 e 10% de N_2 e para o terceiro foi usado uma mistura de 82% H_2 , 4,6% N_2 e 13,4% Ar. Segue abaixo os gráficos das comparações de temperatura (figura 14), pressão (figura 15), corrente (figura 16) e tensão (figura 17).

Figura 14

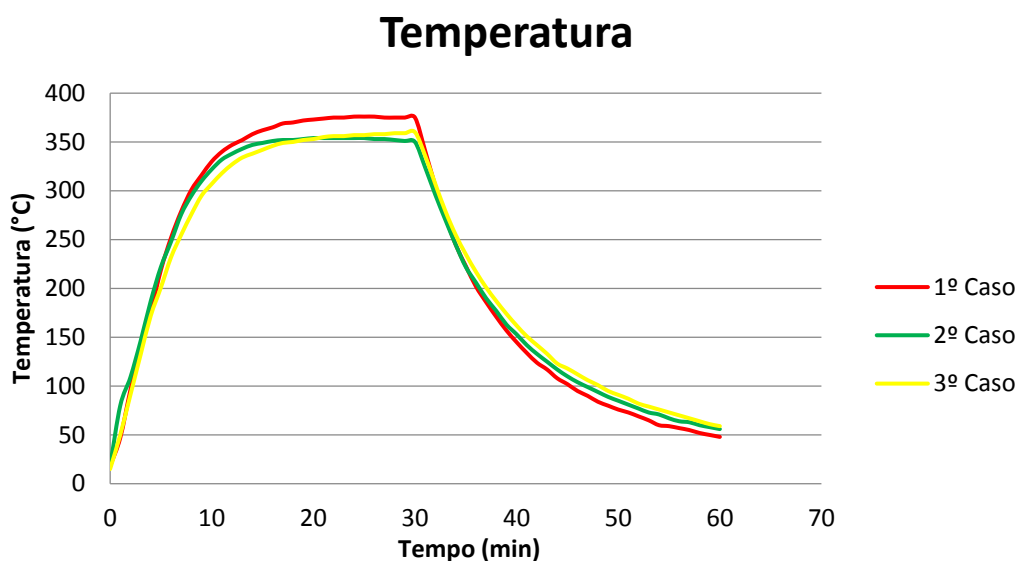


Gráfico da temperatura em função do tempo para os três experimentos.

O gráfico da temperatura mostra que nos três casos não houve grande diferença, apesar da temperatura mais elevada para a mistura de 100 % H_2 , isso significa que os gases utilizados nos diferentes experimentos não influenciaram significativamente na variação de temperatura, o que implica que a energia transferida para a superfície foi praticamente a mesma em todos os casos. Isto se deve ao fato de que a potência aplicada foi mantida constante em 200 W. A maior temperatura (portanto, maior transferência) para hidrogênio puro pode se dever ao fato de ser um processo de limpeza, o que ocasiona algumas instabilidades (arcos) durante o processo.

Figura 15

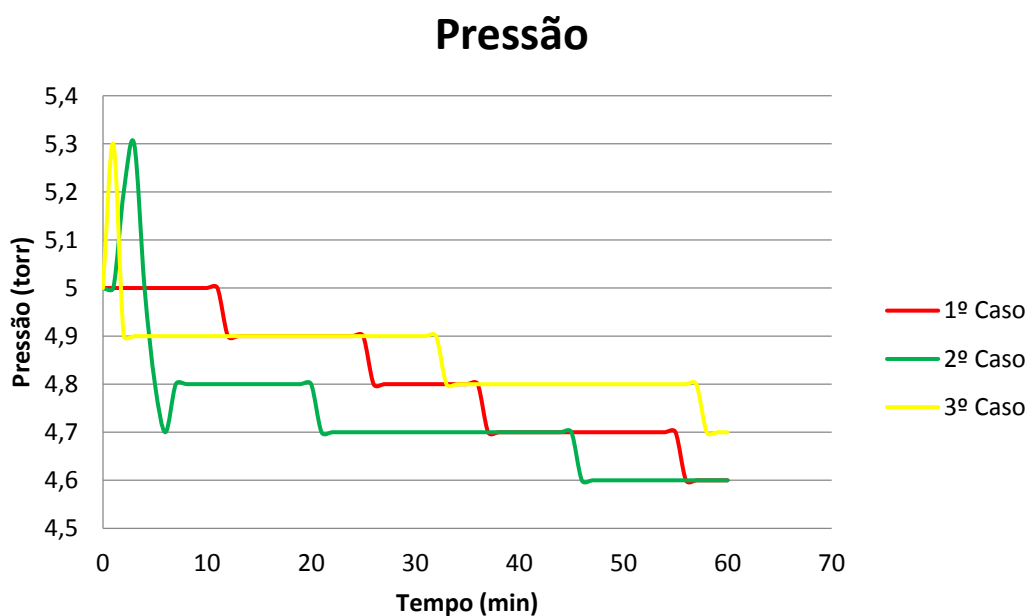


Gráfico da pressão em função do tempo para os três experimentos.

Analisando o gráfico da pressão pode se notar que houve variações dentre os experimentos, mas sempre em torno de 5,0 torr. Essas diferenças são provenientes dos ajustes utilizados durante os experimentos para manter a pressão estável.

Figura 16

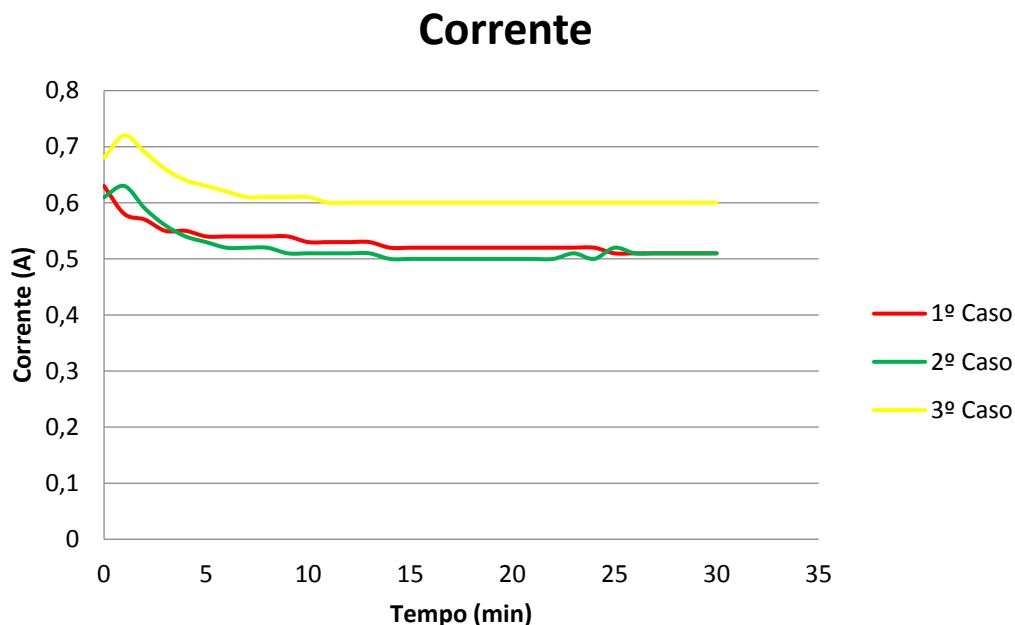


Gráfico da corrente em função do tempo para os três experimentos.

O gráfico da corrente mostra que no terceiro caso, onde foi acrescentado um gás a mais (argônio) do que o segundo caso, a corrente teve uma elevação maior comparada aos outros dois casos. A maior corrente decorre do fato de o argônio ser um gás monatômico, logo mais facilmente ionizado do que as moléculas de nitrogênio e hidrogênio. Deste modo, a produção de íons aumenta e, conseqüentemente a corrente.

Figura 17

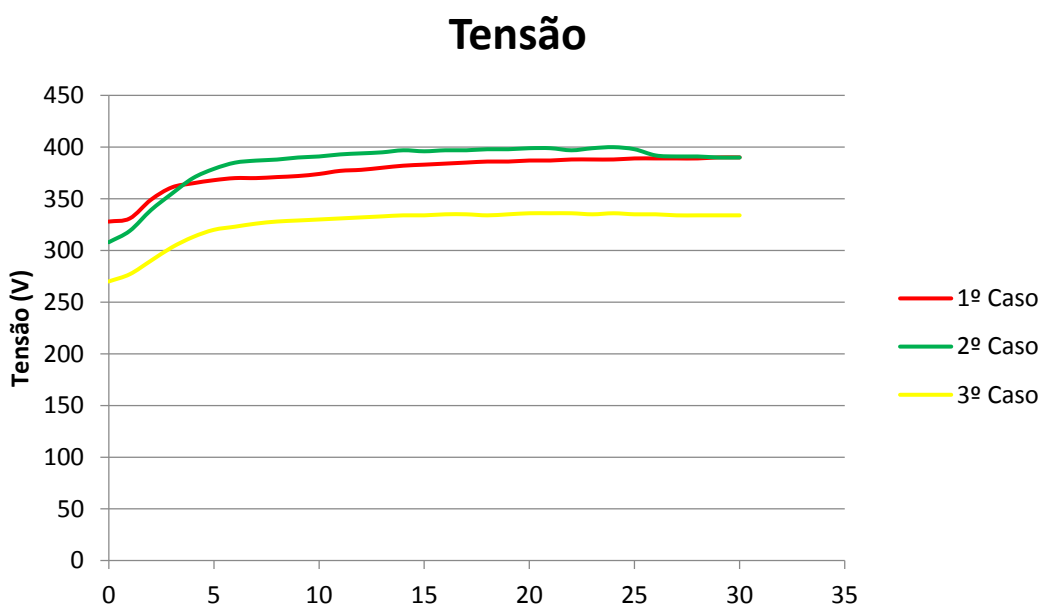


Gráfico da tensão em função do tempo para os três experimentos.

As tensões dos três casos mostradas no gráfico acima mostra que nos dois primeiros casos as tensões não tiveram oscilações consideráveis, entretanto, no terceiro caso a tensão se manteve mais baixa. Uma vez que a corrente aumenta na presença de argônio, a tensão precisa diminuir uma vez que a potência é mantida constante. Logo, a presença do argônio altera as variações de corrente e tensão, no caso da corrente mantém a mesma elevada e para o caso da tensão à mantem reduzida.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O grande mercado industrial em todo mundo necessita que as empresas do ramo de aumento de dureza de ferramentas busquem novas alternativas e a nitretação a plasma para esse segmento é uma opção de grandes vantagens.

A nitretação a plasma é segmento ainda novo no mercado, mas apresenta ter um grande potencial para ser estudado e aplicado em diversas áreas do ramo de materiais por ser um recurso com um custo benefício melhor comparado aos outros métodos existentes no mercado atual.

Com o conhecimento técnico e os dados obtidos neste trabalho será possível aprofundar a investigação sobre os efeitos da mistura gasosa na nitretação de aços ferramentas. Uma vez que duas misturas (H_2+N_2 e $Ar+H_2+N_2$) apresentaram a mesma transferência de energia, mas relações corrente-tensão diferentes será possível tentar correlacionar o efeito das diferentes misturas com a corrente (e ou tensão).

REFERÊNCIAS

- APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. 6. Ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1990.
- HEINRICH, Ernst. **Os aços ferramentas**. São Paulo: Editora Edgar Blücher LTDA, 1977.
- CHIAVERINI, Vicente. **Tratamento térmico das ligas metálicas**. 1. Ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008.
- BODYCOTE, Tratamentos Térmicos. Disponível em: <<http://www.bodycote.com/pt-BR/services/heat-treatment/case-hardening-without-subsequent-hardening-operation/plasma-nitriding.aspx>>. Acesso em: 01 jun. 2014.
- GOBBI, Vagner João. **Influência da nitretação a plasma na resistência ao desgaste microabrasivo do aço ferramenta AISI D2**. Publicação: ENM – 136 A/09. Brasília/DF: 7 de agosto de – 2009.

Sobre os autores:

Julio Sagás possui graduação em Licenciatura Plena em Física pelo Centro de Ciências Tecnológicas - Universidade do Estado de Santa Catarina (2006), mestrado em Física pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2009) e doutorado em Física pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2013). Atualmente é professor adjunto da Universidade do Estado de Santa Catarina. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Física de Plasmas e Descargas Elétricas, atuando principalmente nos seguintes temas: plasma, deposição de filmes por magnetron sputtering, combustão assistida por plasma e modelamento de deposições reativas usando o modelo de Berg



Adelmo Selhorst Junior é acadêmico da sexta fase do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Católica de Santa Catarina em Joinville; realizou um projeto de pesquisa na área de nitretação a plasma com foco em aços ferramenta.



Diego Alexandre Duarte possui doutorado e mestrado em Física pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e graduação em Física pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC/CCT). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Tem experiência no crescimento de filmes finos através de técnicas assistidas por plasma e desenvolvimento de células solares sensibilizadas por corante. Atua exclusivamente nas seguintes áreas: modelagem numérica de materiais e processos, Influência de parâmetros de plasma em propriedades morfológicas, topográficas, estruturais e óticas de filmes finos semicondutores e desenvolvimento de células solares sensibilizadas por corante.

EVALUACIÓN DE MODELO A ESCALA PARA CONTROL DE EROSIÓN MEDIANTE USO DE MANTOS SINTÉTICOS Y REVEGETALIZACIÓN. ESTUDIO DE CASO: LOMAS DEL MARION, CARTAGENA COLOMBIA

Claudia Díaz Mendoza^{1*}, Juan Carlos Valdelamar¹

Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cra 44D # 30^a-91, Teléfono: 6723700

Cartagena de Indias, Colombia

32

En Colombia y América Latina los procesos de degradación de suelos a partir de fenómenos erosivos se han venido incrementando de manera acelerada por múltiples causas, algunas de ellas de tipo físico químico del suelo y otras generadas por cambios en el uso del recurso, razón por la cual se ha venido trabajando con alternativas de bioingeniería para manejo y control de procesos erosivos. En el trabajo de investigación realizado, se plantea una metodología en la cual se evalúan los parámetros de crecimiento y cobertura de un modelo a escala donde se ensayan tres tipos de mantos sintéticos: uno temporal de tejido abierto (Biotex) y dos permanentes de resistencia variable (Terratrak TRM 15 y Terratrak TRM 50). Siguiendo un diseño de experimentos bifactorial (tipo de manto y de fertilizante: Compost y Lombricompost), con un tratamiento y tres réplicas, teniendo como variables de respuesta, el porcentaje de cobertura (%) alcanzada por la especie sembrada (*Brachiaria decumbens*) y el crecimiento semanal (mm/día) de los especímenes. El tratamiento de mejor comportamiento es el presentado por el manto temporal de tejido abierto con mezcla fértil a partir de Compost, el cual logró mejorar las condiciones nutricionales iniciales del suelo.

Palabras clave: erosión, revegetalización, mantos sintéticos, abonos

EVALUATION OF SCALE UP MODEL TO CONTROL EROSION USING SYNTHETIC BLANKETS AND REVEGETATION MARION HILLS, CARTAGENA – COLOMBIA

In Colombia and Latin America the processes of soil degradation from erosion phenomena have been raising at an accelerated rate due to multiple causes, some of them are physical and

* e-mail: cdiaz@tecnologicocomfenalco.edu.co

chemical soil type and other generated by changes in resource use. Reason for which we have been working with bioengineered alternatives for management and erosion control. The research work sets out a methodology in which efficiency is assessed in terms of growth parameters and coverage of a scale model where we tested three types of synthetic blankets, a temporary open weave (Biotex) and two permanent variable resistance (Terratrak TRM TRM Terratrak 15 and 50). Following a two-factor experimental design (type of blanket and fertilizer: compost and vermicompost), with a treatment and three replicates, having as response variables, the percentage of coverage (%) reached by the sown species (*Brachiaria decumbens*) and weekly growth (mm / day) of specimens. The treatment of improved performance is presented by the temporal blanket of open tissue from fertile mix compost, which improves the nutritional initial soil conditions.



Keywords: erosion, revegetation, mantles synthetic, fertilizers

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente en Latinoamérica se desarrollan múltiples experiencias para control de erosión, buscando desarrollar técnicas de bioingeniería que controlen este fenómeno generado por distintos procesos como lluvias, vientos, tala indiscriminada de árboles, cambios en el uso del suelo, entre otros factores; como consecuencia de lo anterior, se han planteado diversas alternativas que buscan costos de implementación bajos y soluciones eficaces. La bioingeniería se ha constituido en la mejor alternativa para lograr una recuperación integral del suelo por medio del uso de estructuras vivas, Romero *et al* (2009). Hay múltiples trabajos documentados en los que se evidencia el uso de Tecnología de Sistemas Vetiver (TSV) (Empresas, Vetiver, & Consultant, 2006), mantenimiento de barreras vivas, usando al vetiver como planta matriz para el control de erosión, tal es el Caso de Venezuela, también en Ecuador se tiene conocimiento de trabajos con empalizadas hechas en bambú y sistemas de pastos.

Dentro de las principales alternativas para la recuperación integral de un suelo se encuentra la bioingeniería. Ésta es una herramienta que consiste en la construcción tanto de cercas vivas más fuertes, que sirven de refuerzo, como de drenajes hidráulicos y barreras para contener la erosión y los movimientos masales (Babalola, Oshunsanya, & Are, 2007). En la investigación de bioingeniería desarrollada se evaluó la efectividad de un modelo a escala propuesto para control de erosión en pendientes inferiores a 45 grados, donde se tomaron como variables de estudio las características de crecimiento y cobertura de las especies vegetales y la variación frente a tres tipos de mantos sintéticos y dos tipos de mezclas fértiles.



2 METODOLOGÍA

En la etapa inicial del proyecto, se realizó la caracterización física y química de dos zonas afectadas por procesos erosivos en el sector de lomas del Marión, en Cartagena. Colombia (georeferenciación: N 10° 23' 48'' y W 75° 30' 29''). (Figura 1)

Figura 1. Localización Loma del Marión Cartagena, Colombia



Fuente: Plan Parcial Lomas del Marión y Zaragocilla

Posteriormente, con base en los resultados de caracterización del suelo, se realizó el diseño de mezclas fértiles a implementar para conseguir la mejora en la parte nutricional del suelo; como parte del diseño experimental de campo, se instalaron tres tipos de mantos geosintéticos: temporal de tejido abierto (Biotex) y permanentes de resistencia variable (Terratrak TRM 15 y Terratrak TRM 50) (Figura 2).

Figura 2. Instalación de manto en área piloto



Siguiendo un diseño de experimentos bifactorial (tipo de manto y de fertilizante: Compost y Lombricompuesto), con un tratamiento y tres réplicas, teniendo como variables de respuesta, el porcentaje de cobertura (%) alcanzada por el pasto sembrado (*Brachiaria decumbens*) y el crecimiento semanal (mm/día) de los especímenes. Los datos obtenidos se compararon mediante un ANOVA a dos vías, con ayuda del paquete estadístico Statgraphic Centurion XV®.

3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis físico del suelo arrojó como resultado que la estratigrafía de la zona en su estrato superiores ($h < 1,0$ m) estaba conformado por arcillas de alta y baja plasticidad, pardas claras con vetas grises y óxidos, de consistencias blandas. El análisis químico del suelo de la zona en

estudio muestra un bajo contenido de potasio, deficiencias en fósforo, hierro y nitrógeno, tal como se indica en la tabla 1, comparada con valores de referencia (Julca-Otiniano, Meneses-Florián, Blas-Sevillano, & Bello-Amez, 2006). En el área de estudio existía una fuerte influencia de factores antropogénicos, tales como disposición inadecuada de residuos sólidos y vertimientos indiscriminados de aguas residuales sobre los taludes. Adicionalmente en la zona se habían utilizado pozos sépticos como sistema de disposición de aguas servidas, lo cual había generado inestabilidad estructural de suelos por saturación.



Tabla 1. Análisis químico de muestras de suelo, Lomas de Marión Cartagena

ELEMENTO	UNIDAD	VALOR	OBSERVACION
POTASIO	meq/100cc	0,16	Bajo
FOSFORO	Ppm	7,0	Deficiente
NITROGENO NITRICO	Ppm	5,0	Deficiente
HIERRO	Ppm	20,0	Deficiente
COBRE	Ppm	0,5	Bajo
ZINC	Ppm	1,3	Bajo
CALCIO	meq/100cc	7,07	Alto
MAGNESIO	meq/100cc	9,34	Excesivo
SODIO	meq/L	6,34	Alto
AZUFRE	Ppm	157	Excesivo
pH		7,27	Alto

Fuente: Laboratorio Dr. Calderón. Bogotá

El tratamiento propuesto, para el modelo a escala de área 13 m², incluyó la elaboración de mezclas fértiles que logaran suplir la deficiencia nutricional del suelo y aportar las condiciones aptas para la germinación de las especies a sembrar y la estabilidad radicular requerida para el modelo, para que junto con los diferentes mantos implementados logaran realizar el control de

la erosión en el área propuesta. Los abonos orgánicos empleados incluyeron Compost y Lombricompuestos, con las características químicas mostradas en la tabla 2 (Del, Su, Con, & En, 2012), donde se evidencia que los abonos propuestos presentan un contenido de nutrientes que logra satisfacer los requerimientos del suelo. Adicional se observa que entre las muestras de compost y lombricompuesto existe una variación entre los contenidos de fósforo, magnesio, calcio y sodio, lo cual puede influir en la respuesta que el suelo tenga en cuanto a la germinación, adaptación y crecimiento de las especies en la zona tratada.

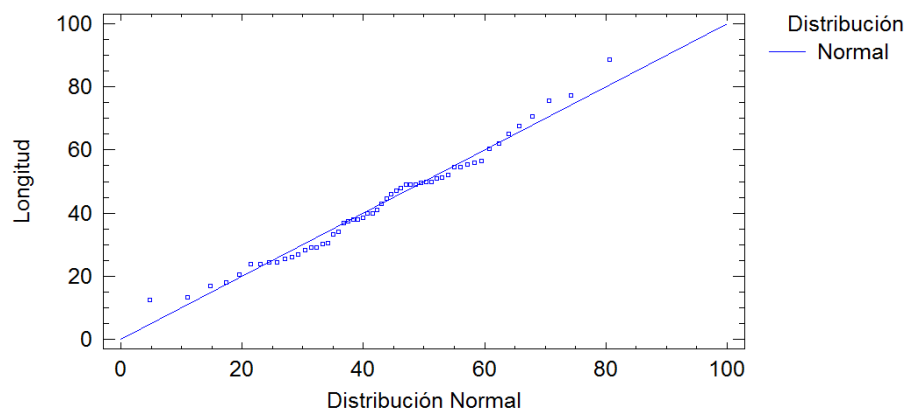


Tabla 2. Propiedades químicas de los abonos orgánicos

ELEMENTO	UNIDAD ⁱ	COMPOST	LOMBRICOMPUESTO
POTASIO	cmol+/kg	9.95	22.43
FOSFORO	mg/kg	1038.4	73.0
AZUFRE	mg/kg	198.1	109.6
HIERRO	mg/kg	0.8	4.2
COBRE	mg/kg	0.4	0.6
ZINC	mg/kg	0.8	5.4
CALCIO	cmol+/kg	24.0	12.5
MAGNESIO	cmol+/kg	10.8	2.5
SODIO	cmol+/kg	2.28	15.22
Materia Orgánica	%	17.12	46.08
pH	1:1	7.16	7.35

Fuente: Laboratorio Universidad de Córdoba

Se aplicaron pruebas de Normalidad para Longitud de crecimiento de la especie, Chi-cuadrado y Estadístico W de Shapiro-Wilk; debido a que el valor P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05 (Figura 3). Este valor nos indica que los datos analizados corresponden con una distribución normal con 95% de confianza para el análisis estadístico.

Figura 3. Análisis de distribución normal para Crecimiento

Existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos analizados. La combinación Biotex y compostaje ofrece mejores garantías en cuanto a crecimiento; en la Figura 4, se evidencia que los valores de longitud total de las especies monitoreadas son superiores para los tratamientos Biotex – Compost y Biotex Lombricompuesto; lo cual puede ser atribuido a las características físicas del manto temporal de tejido abierto, que facilita el crecimiento de las especies (Figura 5).

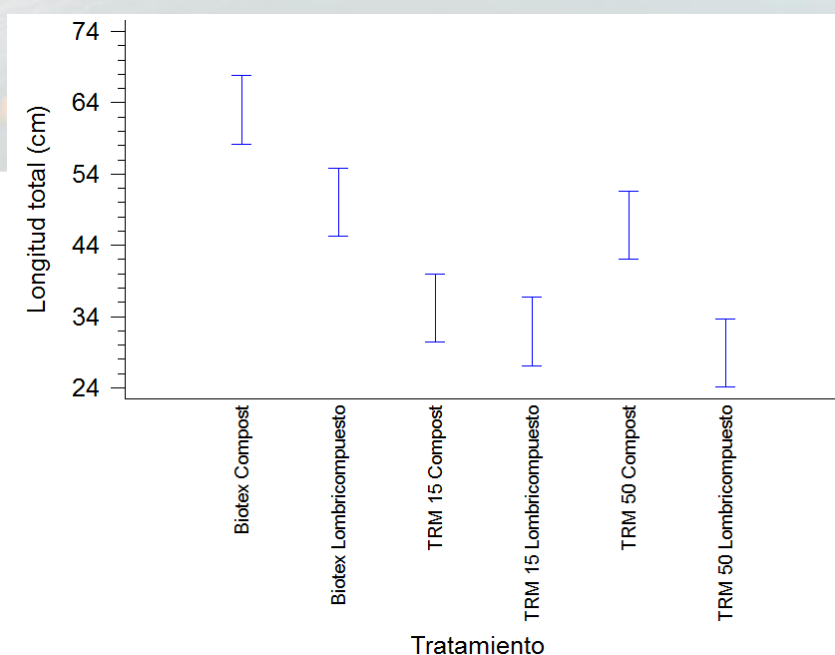
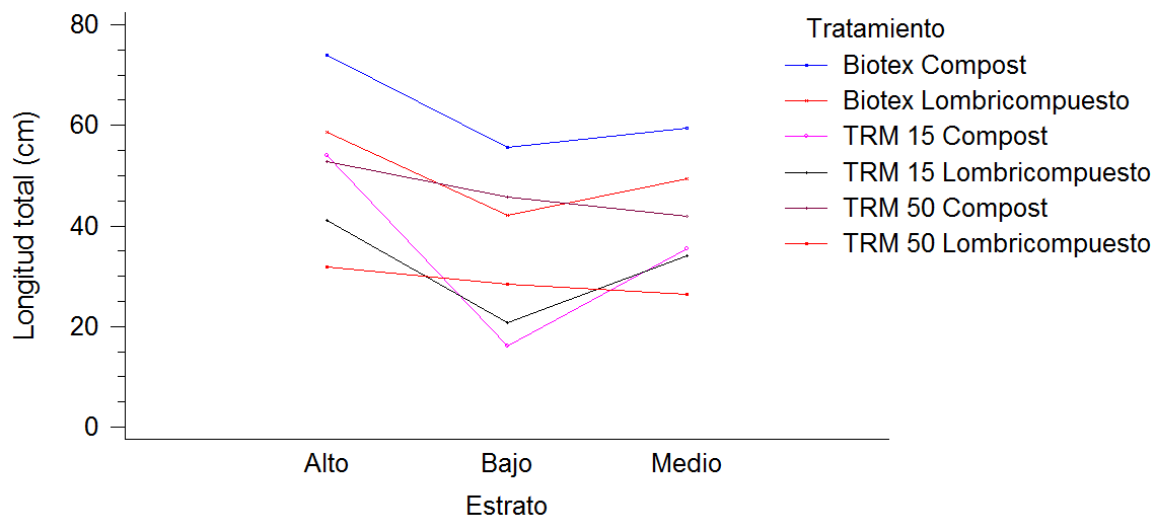
Figura 4. Comparación Tipo de Tratamiento vs Longitud total

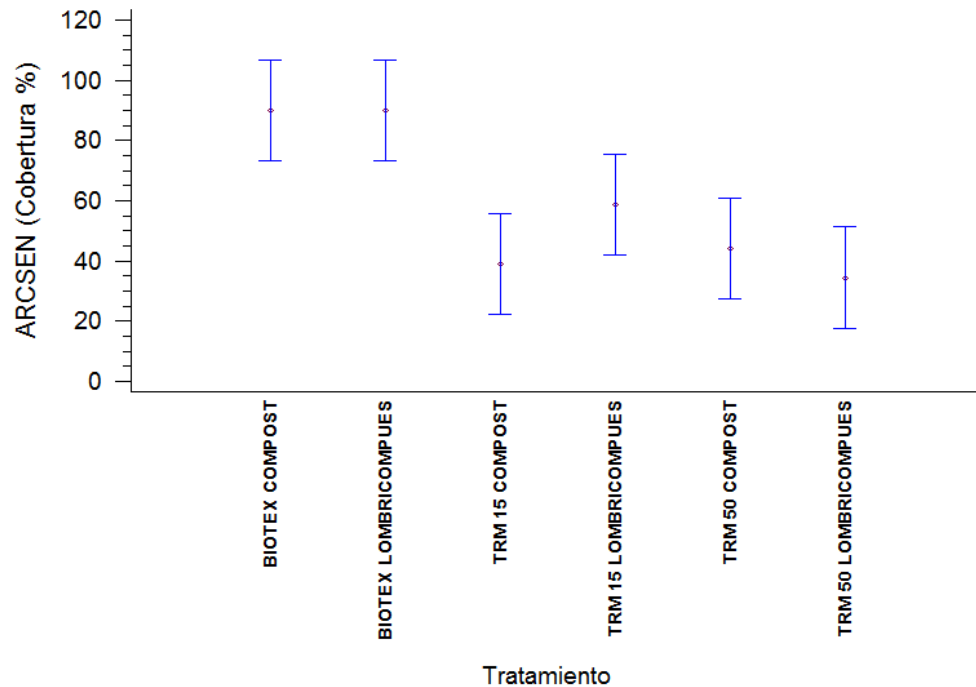
Figura 5. Crecimiento de *Brachiaria decumbens*

En cuanto a la diferencia presentada en el comportamiento de los dos abonos empleados compost y lombricompuesto, se puede atribuir a que el compost presenta valores superiores de Calcio y Fósforo, que son los nutrientes que se encontraban deficientes en el suelo originalmente; además el Fósforo como Macronutriente en el suelo contribuye a que las raíces y las plántulas se desarrollen rápidamente, con lo cual se ganaría mayor longitud en menor tiempo.

El tratamiento menos eficiente, fue evidenciado en la combinación de TRM50 con Lombricompuesto. El análisis comparativo de las mismas variables de acuerdo a tres posiciones en el estrato (baja, meda y alta), mostró que existían diferencias entre estas, siendo las partes altas las que presentaron mayores valores de cobertura y crecimiento como se puede observar en la Figura 6, se observa igualmente que la zona que presenta un comportamiento más crítico en cuando a crecimiento es la del medio, lo cual puede ser atribuido al valor de pendiente y incidencia de la lluvia .

Figura 6. Análisis de Tratamiento, longitud total vs nivel

La figura 7 muestra el análisis desarrollado para evaluar cobertura, de acuerdo al tipo de tratamiento empleado. Se evidencia que con los tratamientos de Biotex lombricomposto y Biotex compost, se logran valores superiores de cobertura al cabo de dos meses de monitoreo, mientras que para mantos permanentes TRM 15 y TRM 50, las coberturas alcanzadas son inferiores. Se debe revisar la absorción de agua en el suelo en este tipo de mantos, ya que por su naturaleza estructural y fibra de poliéster, protegen el suelo contra la acción del agua controlando la erosión, pero a su vez puede influir en la baja cobertura de las especies vegetales que fue obtenida, debido a que en etapas iniciales, para la germinación y crecimiento de las plántulas se requiere una adecuada humectación del suelo.

Figura 7 Análisis de Tratamiento vs cobertura

Se realizaron pruebas de Análisis de Varianza (ANOVA), debido a que los datos de cobertura no cumplieron con los supuestos de normalidad, ni de homocedasticidad, se realizó una prueba no paramétrica, mediante el test de Kruskal Wallis, cuyos resultados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Prueba de Kruskal-Wallis para Cobertura por Tratamiento

<i>Tratamiento</i>	<i>Tamaño Muestra</i>	<i>Promedio del Intervalo</i>
BIOTEX COMPOST	5	25,5
BIOTEX LOMBRICOMPUES	5	25,5
TRM 15 COMPOST	5	10,3
TRM 15 LOMBRICOMPUES	5	13,5
TRM 50 COMPOST	5	10,3
TRM 50 LOMBRICOMPUES	5	7,9
Estadístico = 21,33		Valor-P = 0,0007

La prueba de Kruskal-Wallis evalúa la hipótesis de que las medianas de cobertura dentro de cada uno de los 6 niveles de Tratamiento son iguales. Primero, se combinan los datos de todos los niveles y se ordenan de menor a mayor. Luego, se calcula el intervalo (rank) promedio para los datos de cada nivel. Puesto que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

La calidad del suelo según Karlen *et al* (2008) “es la capacidad del suelo de funcionar en un ecosistema dado manteniendo la productividad biológica, la calidad ambiental y promover la salud de plantas y animales”; cuando un suelo pierde las condiciones de estabilidad estructural ó se modifican sus propiedades físico químicas (Karlen et al., 2008), tiende a iniciar un proceso de degradación, el cual se manifiesta de forma severa cuando se generan fenómenos erosivos. En el caso de suelos de Lomas del Marión en Cartagena, los suelos presentan una deficiencia nutricional, asociada a la presencia de factores antropogénicos que inducen cambios en su uso, lo anterior ha afectado su calidad ambiental y ha generado erosión.

Cambios en el uso del suelo pueden producir procesos de acidificación y contaminación del suelo generado por presión humana (Úbeda, Outeiro, & Sala, 2006). La pérdida de cobertura vegetal provoca la pérdida de materia orgánica edáfica y poco tiempo después el suelo pierde su calidad, creciendo el riesgo de erosión. Estudios realizados para recuperación y regeneración de suelos degradados por diferentes causas, han obtenido óptimos resultados con el empleo de residuos frescos y compostados (Pascual, Hernandez, Garcia, De Leij, & Lynch, 2000), lo anterior se puede verificar con los resultados del estudio realizado, donde los tratamientos aplicados usando compost y lombricompostos dieron como resultados altos porcentajes de cobertura vegetal, que al ser combinados con los mantos sintéticos generan una mejor protección al suelo contra la erosión.

Sobre pendientes acusadas ó sobre suelos muy erosionables, puede ser necesario mantener algunas fajas con vegetación permanente (Filho, Ferreira, & Ferreira, 2011), por esta razón el modelo propuesto genera una barrera viva, que al combinar sistemas de pastos con mantos proporciona estabilidad y progresiva acumulación de suelos pendiente arriba, lo cual genera una zona de amortiguación.

4 CONCLUSIONES

El modelo propuesto es una herramienta útil para evaluar en términos de crecimiento y cobertura, la efectividad de tratamientos de control erosivo mediante el uso de mantos Geosintéticos y fertilizantes orgánicos, permitiendo identificar las mejores combinaciones acorde al tipo de suelo en que se desean implementar, igualmente se identificó como el tratamiento más eficiente en términos de crecimiento de individuos y cobertura, a aquel constituido por Biotex y Compost, seguido por Biotex y lombricompost. Se identificó que la respuesta positiva del suelo al abono orgánico compost se atribuyó en gran parte a su elevado contenido de nutrientes como Calcio y Fósforo que era la mayor deficiencia nutricional que presentaba el suelo al inicio del proyecto. Se identificó una respuesta menor en cuanto al tratamiento de TRM 50 lombricompost.

Novos Saberes, v. 2, n. 2 (2015)

En términos generales, el proyecto permitió concluir que los mantos sintéticos temporales de tejido abierto (Biotex), permiten una mejor respuesta frente al tiempo de germinación, crecimiento y cobertura de especies vegetales, mientras que los mantos permanentes de resistencia variable (Terratrak TRM 15 y Terratrak TRM 50), su respuesta en cuanto a cobertura y adaptación de las especies es un poco menor, a pesar de ser éstos últimos de mayor resistencia física en el momento de realizar la estabilización.

Agradecimientos: Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco y Armonía Ambiental Ltda.

6 BIBLIOGRAFÍA

44

BABALOLA, O., OSHUNSANYA, S. O., & ARE, K. **Effects of vetiver grass (*Vetiveria nigriflora*) strips, vetiver grass mulch and an organomineral fertilizer on soil, water and nutrient losses and maize (*Zea mays*, L) yields.** Soil and Tillage Research, 96, p. 6–18 (2007)

BORGES J., BARRIOS M., SANDOVAL E., BASTARDO Y., & MÁRQUEZ O. (2012). Características Físico Químicas del suelo y su asociación con macroelementos en áreas destinadas a pastoreo en el estado de Yaracuy, Bioagro 24(2), 121–126.

FILHO, J. T., FERREIRA, R. R. M., & FERREIRA, V. M. **Fertilidade química de solo sob pastagens formadas com diferentes espécies nativas e com *Brachiaria decumbens* manejadas com queimadas anuais.** Semina: Ciências Agrárias, 32, p. 1771–1782 (2011).

JULCA-OTINIANO, A., MENESES-FLORIÁN, L., BLAS-SEVILLANO, R., & BELLO-AMEZ, S. **La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura.** Idesia, 24, p. 49–61, (2006).

KARLEN, D. L., ANDREWS, S. S., WIENHOLD, B. J., & ZOBECK, T. M. **Soil Quality Assessment: Past, Present and Future.** J. Integr. Biosci., 6(1), p. 3–14 (2008).

LUQUE R., LISENA M., & LUQUE O. (2006). Vetiver System for Environmental Protection of Open Cut Bauxite Mining at “Los Pijiguaos”– Venezuela. 1–16.

PASCUAL, J. A., HERNANDEZ, T., GARCIA, C., DE LEIJ, F. A. A. M., & LYNCH, J. M. **Long-term suppression of *Pythium ultimum* in arid soil using fresh and composted municipal wastes.** Biology and Fertility of Soils, 30, p. 478–484 (2000)

ROMERO, M. P.; SANTAMARÍA, D. M.; ZAFRA, C. A. **BIOINGENIERÍA Y SUELO: ABUNDANCIA MICROBIOLÓGICA, pH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA BAJO TRES ESTRATOS DE EROSIÓN.** (2009). Umbral Científico, Bogotá Colombia No.15 p.67 - 74.

ÚBEDA, X., OUTEIRO, L. R., & SALA, M. **Vegetation regrowth after a differential intensity forest fire in a mediterranean environment, northeast Spain.** Land Degradation and Development, 17, 429–440 (2006)

Sobre Claudia Díaz-Mendoza:

La ingeniera Civil, especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad de Cartagena, Claudia Díaz Mendoza realizó estudios de Máster en Gestión y Auditoria Ambiental en la Universidad Politécnica de Catalunya. Actualmente se desempeña como Coordinador de investigación de los Programas Ambientales de la Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, líder del Grupo de Investigación Ambiental GIA, líder de área de suelos, con proyectos de investigación desarrollados en Manejo de residuos sólidos para Calidad Ambiental de Playas 2010-2015 en el marco del proyecto interinstitucional ICAPTU, programa de manejo de residuos sólidos y 3R en Proyectos Ambientales Escolares significativos PRAES, realizados en cooperación con empresas Fundación Mamonal, CBI y Reficar 2013-2014.

CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA PARA ABASTECIMIENTO EN POBLACIONES AISLADAS

Leandro Niebles Puello, Diana Patricia Zaizon Paternina, María Teresa Ramos Gómez, Jorgelina Pasqualino¹

Grupo de Investigación Ambiental (GIA), Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco, Cartagena de Indias, Colombia

46

Actualmente, un gran porcentaje de la población de los países en vías de desarrollo, experimenta a diario la carencia de condiciones sanitarias adecuadas, resaltando la de no contar con agua en cantidad y calidad que satisfaga sus necesidades básicas. Esta situación se presenta especialmente en zonas aisladas como territorios insulares, rurales, montañosos y selváticos. El uso y consumo doméstico agua que no ha sido tratada está asociado con la generación de enfermedades dérmicas, gastrointestinales y en el peor de los casos con la muerte de quienes han consumido o aprovechado dicho recurso hídrico, sobresaliendo estas afectaciones en las poblaciones de menores de edad, tercera edad y mujeres en estado de gestación. La no disponibilidad de agua apta para el consumo humano en poblaciones aisladas, plantea la necesidad de desarrollar sistemas simples, económicos y compactos para su tratamiento. Por este motivo en el presente proyecto se describe la construcción de un prototipo de planta de tratamiento de agua potable para la reducción del contenido de sólidos suspendidos y disueltos. Así mismo en este artículo se describirán los procesos de tratamiento incluidos en el prototipo, a partir del cual se obtiene un agua que podrá ser utilizada para el consumo diario y seguro de muchas familias que se encuentran en sitios alejados de los centros urbanos.

Palabras Claves: Cloración; Coagulación-Floculación; Filtración; Potabilización del agua; Reducción de sólidos suspendidos.

Currently in developing countries a large percentage of population experiences daily lack of adequate sanitation, specifically the lack of water quantity and quality enough to cover their basic needs. This situation is usually frequent in isolated areas such as islands, rural, mountainous and forest territories. The domestic use and consumption of untreated water is related to the development of skin and gastrointestinal diseases and, in the worst situation, the death of those who have consumed that water resource, specially the children, elderly and pregnant women population. The unavailability of water suitable for human consumption in isolated locations suggests the need to develop simple, cheap and compact treatment devices. For this reason we describe here the construction of a water treatment prototype focused on suspended and dissolved solids removal. In addition, the treatment processes included in the prototype are described. The water produced with the device could be used for family daily safe consumption in locations far from urban areas.

Keywords: Chlorination; Coagulation-Flocculation; Filtration; Water purification; Suspended solids removal.

¹ E-mail: jorgelina.pasqualino@gmail.com

1 INTRODUCCIÓN

El acceso a agua potable es una cuestión básica para el desarrollo de la vida. A nivel mundial, una de las mayores necesidades de la población mundial es la disponibilidad de agua potable para tener una óptima calidad de vida, fundamental para un desarrollo justo, sostenible y sano de cualquier país. En los países en desarrollo se manifiesta la carencia de agua potable por varias causas, entre las que se encuentran la falta de recursos hídricos, la contaminación de las fuentes de agua o incluso problemas de orden financiero, que no permiten la implementación de sistemas de tratamiento, potabilización y distribución del agua a la población [1].

Asimismo, muchos países sufren la falta de sistemas de saneamiento básico de aguas residuales, lo que incrementa la contaminación de los recursos hídricos existentes [2]. En los países en vía de desarrollo, se puede afirmar además que son innumerables los problemas que resultan de las deficiencias de saneamiento básico, como la disponibilidad del agua potable, la remoción sanitaria y la disposición de residuos sólidos [3]. Su escasez, en parte debida a los cambios en el ambiente causados por las actividades humanas, se ha convertido en uno de los mayores problemas tecnológicos del siglo XXI [4].

En Colombia, el Segundo Inventario Nacional de la Calidad del Agua, reportó que sólo siete de cada diez municipios a nivel nacional disponían de agua de buena calidad [5], reflejándose esta condición sanitaria en la Situación de Salud en el año 2001, en la que 22 de cada 100.000 niños colombianos menores de cinco años murieron de enfermedad diarreica aguda [6].

Los sistemas descentralizados de potabilización de agua son un elemento importante para alcanzar los objetivos de desarrollo del milenio, especialmente en países en los cuales los sistemas centralizados son deficientes o inexistentes en determinadas regiones. Los sistemas descentralizados disponibles actualmente incluyen tratamientos térmicos, desinfección mediante UV, y tratamientos fisicoquímicos [7]. Ante la imperante necesidad de agua que tiene la población, en especial las pequeñas comunidades del norte del país, zona que se encuentra en estado de subdesarrollo, se hace necesario recurrir al estudio, planteamiento e incorporación de nuevas alternativas de potabilización de agua para poder disponer de la misma de manera continua y eficiente. Dichas alternativas deben ser además económicamente viables, y capaces de satisfacer la demanda de agua para consumo doméstico, fáciles de utilizar, sostenibles, de bajo mantenimiento e independientes de servicios externos (como fuentes de energía) [7][8][9].

En este proyecto se presenta el diseño, construcción y operación de un prototipo que incluye procesos de remoción de sólidos suspendidos y disueltos por medio de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y posterior desinfección con hipoclorito de sodio. El agua que se tomó para el desarrollo del proyecto fue una mezcla homogénea de agua cruda de distintos orígenes con elevada turbidez.

El prototipo diseñado, además de mejorar las características del agua tratada, tiene como componente de innovación, que es una planta potabilizadora portátil, ligera, de fácil manejo, de fácil transporte y que cumple con todas las exigencias requeridas para obtener un agua de excelentes calidades.

2 METODOLOGÍA

La metodología utilizada para diseñar y construir el prototipo de la planta potabilizadora de agua, constó de las fases descritas a la continuación.

2.1 ADQUISICIÓN DE CONOCIMIENTOS Y BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

En esta etapa se realizó una búsqueda bibliográfica sobre el diseño de dispositivos de tratamiento de agua descentralizados, enfocándose en sistemas de tratamiento fisicoquímico.

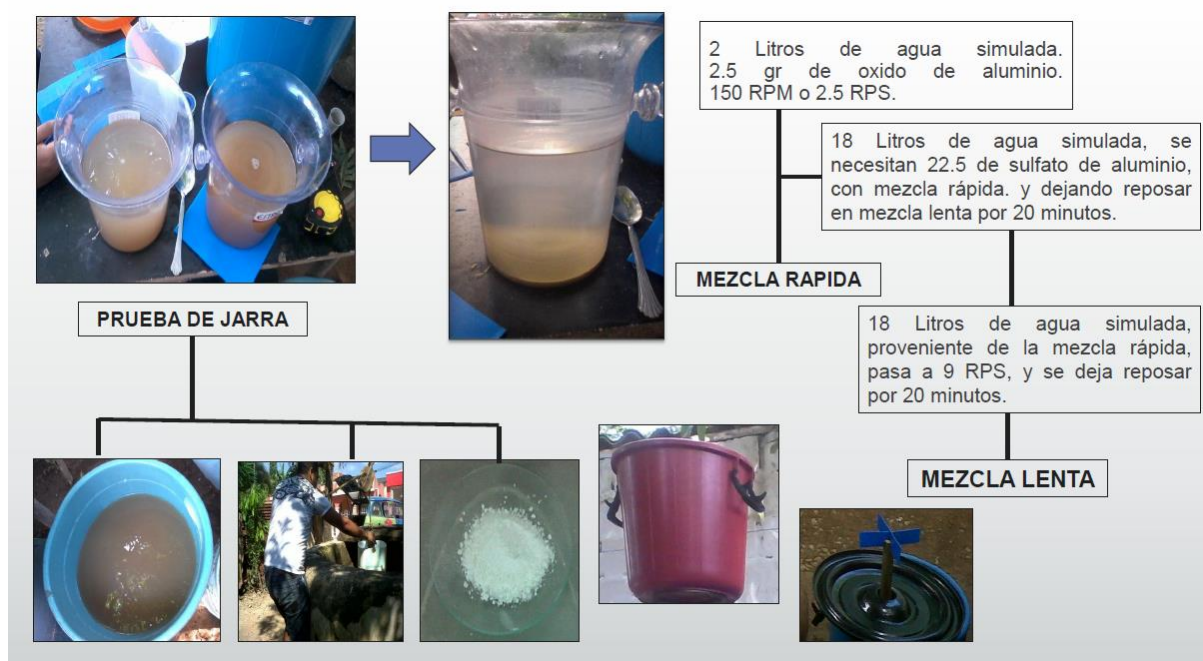
2.2 SELECCIÓN Y PRE-DISEÑO DE LAS ETAPAS DE TRATAMIENTO

En esta fase se definieron los parámetros a tratar, estableciendo como objetivo del prototipo la reducción de los sólidos suspendidos y disueltos y la eliminación de microorganismos patógenos. Los procesos necesarios para dicho objetivo se definieron como la mezcla rápida (coagulación), mezcla lenta (floculación), sedimentación primaria, filtrado y desinfección. Para cada uno de los procesos se tuvieron en cuenta las dimensiones y características del prototipo de acuerdo con los requerimientos específicos exigidos por el RAS 2000 (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico) [10]. Los parámetros de diseño se determinaron para cada proceso para establecer las condiciones de funcionamiento de la planta.

2.3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO PROPUESTO

A partir de los resultados del pre-diseño, se procedió a la construcción del prototipo. Para ello se utilizaron tres tanques plásticos con capacidad de almacenamiento de 20 L, 30 cm de diámetro interno y 33 cm de alto, los cuales se ubicaron de forma que se asegure el flujo por gravedad entre procesos. El primer recipiente (ROJO) se utilizó para los procesos de coagulación y floculación (mezcla rápida y lenta), utilizando sulfato de aluminio como coagulante, y posterior sedimentación. Se realizaron pruebas de jarra para determinar la dosis de coagulante y los tiempos y velocidades de mezclado rápido, lento y sedimentación (Figura 1).

Figura 1: Proceso de Coagulación y Floculación (mezcla rápida y lenta).



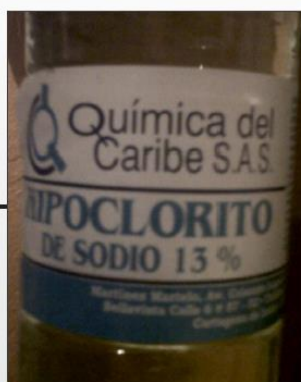
El segundo recipiente (AZUL) se utilizó para el proceso de filtración [11] mediante lecho filtrante en tres capas (Figura 2): una primera capa de grava o canto rodado que actuó como material de soporte (espesor de 3,5 cm), una segunda capa de carbón activado (espesor de 5 cm) y una tercera capa de arena fina (espesor de 6 cm).

Figura 2: Construcción del sistema de filtración



El tercer recipiente (VERDE) se utilizó para llevar a cabo el proceso de desinfección con hipoclorito de sodio (NaClO) al 13% (Figura 3).

Figura 3: Proceso de desinfección por cloración



A los 14 litros de agua que llegan a este tratamiento se le deben agregar 2.5 gotas de hipoclorito de sodio, realizando una mezcla homogénea por dos minutos y queda el agua apta para el consumo humano.

Además de los materiales anteriormente mencionados, se utilizaron otras materias primas y herramientas, tales como: tubos de $\frac{1}{2}$ pulgada, tees, codos y válvulas en PVC, cequeta y taladro, entre otros.

2.4 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE AGUA

Se tomó una mezcla de agua de origen subterráneo y superficial en la localidad de Turbaco (Bolívar), con el fin de simular el agua procedente de ríos, arroyos y lluvias en algunas poblaciones interiores del departamento de Bolívar, como lo es el caso de la poblaciones del corregimiento de Gambote, bordeado por el Canal del Dique y de algunas islas del archipiélago del Rosario y San Bernardo.

2.4 PUESTA EN MARCHA DEL PROTOTIPO

La finalidad de esta etapa (Figura 4) es demostrar el correcto funcionamiento de la infraestructura del prototipo y el cumplimiento de los objetivos del mismo en cuanto a la remoción de sólidos y patógenos del agua.

Figura 4: Diseño final del Prototipo de la Planta Potabilizadora de Agua.



DISEÑO FINAL DEL PROTOTIPO DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA:

- 1: MEZCLA RAPIDA Y MEZCLA LENTA.
- 2: FILTRACION.
- 3: DESINFECCION.
- 4: AGUA POTABLE.

4 RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el diseño y construcción del prototipo de planta potabilizadora. En la tabla 1 se presentan los parámetros de diseño y operación de los procesos de coagulación y floculación, donde V es el volumen útil del tanque, G es el gradiente

de velocidad, K es el factor de forma del agitador, d es su diámetro, N su velocidad de agitación y P la potencia disipada en el agua.

Tabla 1. Parámetros de diseño y operación del proceso de Coagulación o Mezcla rápida y Flocculación o Mezcla lenta.

Parámetro	Mezcla Rápida	Mezcla Lenta
V	16 L	16 L
G	538 s^{-1}	1.5 s^{-1}
K	6.3	6.3
Agitador	4 paletas planas	4 paletas planas
N	150 rpm (2,5 rps)	3 rpm (0.05 rps)
d	14 cm	14 cm
P	5.294 W	$4.2 \cdot 10^{-5} \text{ W}$

En la tabla 2 se presentan los parámetros de diseño y operación del proceso de sedimentación, donde Cs es la carga hidráulica superficial.

Tabla 2: Parámetros de diseño y operación del proceso de Sedimentación.

Sedimentación	
V	16 L
Cs	0.9 m/día

La tasa de generación de los lodos, generados en la sedimentación, depende del agua problema a tratar, y se determinarán por medio de una serie de pruebas de jarra. El volumen de los lodos generados se acumulará debajo de la válvula de salida del primer tanque. Teniendo en cuenta este volumen, se calculará la frecuencia de vaciado de lodos. La gestión ambiental de estos lodos implica que con la frecuencia calculada anteriormente se extraigan del sistema desmontando el primer tanque y lavándolo con agua limpia.

Para el secado de los lodos extraídos, se propone esparcirlos en un área que tenga gran incidencia de la radiación solar, y disponerlos finalmente como residuos domésticos o utilizarlos como abono orgánico.

En la tabla 3 se presentan los parámetros de diseño y operación del proceso de filtración donde d es el diámetro del lecho filtrante, t es el tiempo de filtración, v la velocidad de paso a través del lecho, Cd el coeficiente de arrastre y h la pérdida de carga total del lecho.

Tabla 3: Parámetros de diseño y operación del proceso de Filtración.

Filtración		
d	33 cm	0.33 m
t	10 min	600 s
v	0, 00055 m/s	
Cd	0.46	
h	$1,12 \cdot 10^{-8} \text{ m}$	
Porosidad del carbón activado	e= 97%	



El sistema de lavado del sistema de filtrado, se podrá realizar mediante un lavado en contracorriente del material filtrante, utilizando un 10% del volumen de agua procesada. Para determinar el tiempo de lavado del sistema de filtrado, se tienen dos opciones: una es utilizando una frecuencia fija, calculada a partir de la pérdida de carga del lecho, y la segunda opción es por medio de la pérdida de caudal, la cual se determinará por medio del uso de un caudalímetro. Adicionalmente se propone realizar el reemplazo de los materiales filtrantes cada 3 meses.

En la tabla 4 se muestran los análisis de costos de la inversión inicial para la construcción del prototipo, obteniendo un costo de \$ 331.400 (pesos colombianos).

Tabla 4: Coste de inversión inicial para montaje del prototipo

Material e insumos	Valor unitario	Valor total
3 tanques plásticos	\$ 10.000	\$ 30.000
1/2 tubo PVC de 1/2"	\$ 4.000	\$ 4.000
3 válvulas de PVC de 1/2"	\$ 3.000	\$ 9.000
1 cruz metálica de 1/2"	\$ 2.500	\$ 2.500
6 codos de PVC de 1/2"	\$ 400	\$ 2.400
2 tees de PVC de 1/2"	\$ 500	\$ 1.000
1 goma para PVC	\$ 2.500	\$ 2.500
Test de jarra	\$ 80.000	\$ 80.000
Ensayos de laboratorio	\$ 200.000	\$ 200.000
Total		\$ 331.400

Los datos de la calidad fisicoquímica del agua de entrada y salida, se obtendrán a partir de una serie de análisis de laboratorio que se le deben realizar al agua problema a tratar, y que se incluyen entre los costos de instalación, entre los que se encuentran: análisis fisicoquímico (turbiedad, pruebas de jarra, sólidos suspendidos, cloro residual), microbiológicos (coliformes), análisis organolépticos (olor, sabor). Finalmente en la tabla 5 se presentan los gastos de insumos por tratamiento obteniendo un gasto de \$ 3,17 por litro, \$ 443,33 por día y \$ 13.300 por mes,

teniendo en cuenta que el prototipo permite obtener 14 L/ciclo, con una producción de 10 ciclos diarios.

Tabla 5: Coste de operación del prototipo, basado en la producción de 140 litros/día

Material e insumos	Valor Unitario	Costo \$/litro
500 gr de Sulfato de Aluminio	\$ 4.000	\$ 1,429
3 kg de Arena	\$ 900	\$ 0,071
1 1/4 Kg Carbón Activado	\$ 20.000	\$ 1,524
1 L de Hipoclorito de Sodio al 13%	\$ 2.000	\$ 0,143
Total por litro		\$ 3,17
Total Día		\$ 443,33
Total Mes		\$ 13.300

Finalmente en la Figura 5 se muestra el dispositivo en funcionamiento.

Figura 5: Prototipo de planta potabilizadora, puesto en operación.



OPERACION DEL PROTOTIPO :

- 1: MEZCLA RAPIDA Y MEZCLA LENTA.
- 2: FILTRACION.
- 3: DESINFECCION.

Después de haber calculado los parámetros de diseño y operación, se puede determinar que todos los parámetros se encuentran dentro de los rangos de referencia establecidos por el RAS 2000. El tiempo total del proceso fue de 35 minutos para procesar 16 L de agua de forma discontinua, con lo que se tiene una producción estimada de unos 650 L/día. El funcionamiento del dispositivo en continuo permitiría aumentar esta producción. La Figura 6 presenta los resultados del proceso completo.

Figura 6: Comparación del agua de entrada y salida.



5 CONCLUSIONES

Todos los parámetros de diseño del prototipo se encuentran dentro de los valores recomendados por el RAS 2000. El agua obtenida como producto tuvo una reducción de sólidos elevada que con la adición de desinfectante garantiza además la remoción de los microorganismos patógenos en el agua tratada.

El prototipo diseñado podría emplearse en zonas rurales o insulares donde no se disponga de agua potable corriente, para procesar agua de lluvia, de pozo o agua superficial, optimizando las condiciones de operación a partir de ensayos de laboratorio del agua problema y test de jarras. El usuario final del prototipo recibiría una guía de uso indicando: dosis de coagulante a emplear, tiempo y velocidad de mezclado (en etapas de coagulación y floculación), tiempo de sedimentación, frecuencia de remoción de lodos, frecuencia de lavado de filtro, instrucciones de cambio de lecho filtrante, dosis de desinfectante, recomendaciones de almacenamiento, etc.

6 REFERENCIAS

- [1] WHO & UNICEF. Informe sobre la Evaluación Mundial del Abastecimiento de Agua y el Saneamiento en 2000. s.f.: Organización Mundial de la Salud; Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2000.
- [2] Starkl, M.; Stenstrom, T.A.; Roma, E.; Phansalkar, M. And Srinivasan, R.K. Evaluation of sanitation and wastewater treatment technologies: case studies from India. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development, vol. 3; 2013
- [3] Barrameda Soft Corporation. Informe de Naciones Unidas. Tercera Jornada de la Cumbre Internacional sobre Desarrollo Sustentable, en Johannesburgo. [on line].
- [4] Hussam, Abdul. Monitoring Water Quality. Pollution Assessment, Analysis, and Remediation. Elsevier. Chapter 11 – Potable Water: Nature and Purification. Pp 261–283; 2013

- [5] Colombia. Ministerio de Salud. Segundo Inventario Nacional de la Calidad del Agua. Bogotá: El Ministerio; 1998
- [6] Colombia. Ministerio de Protección Social. Situación de Salud de Colombia. Indicadores básicos 2002. Bogotá: El Ministerio; 2003.
- [7] Peter-Varbanets, Maryna; Zurbrügg, Chris; Swartz, Chris And Pronk, Wouter. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Research* 43(2): 245–265; 2009
- [8] Lozano Rivas, William Antonio. Una nueva manera de potabilizar el agua. *Revista Acodal*, No. 206, agosto 2004, 25-29.
- [9] Ospina Zuñiga, Oscar Efren; Ramirez Arcila, Hildebrando; Guevara Ceron, Diego Octavio; Peña Montaña, Eulises Fernando Y Arias Diaz, Arnulfo. Proyecto Palomar: Potabilización Doméstica de Agua para Localidades Marginadas y Rurales. 56° Congreso Internacional ACODAL. Agua, Saneamiento, Ambiente y Energías Renovables. Santa Marta. Colombia; 2013
- [10] RAS 2000 (Reglamento técnico del sector de Agua potable y Saneamiento básico). Título C.
- [11] Visscher, J.T.; Paramasivam, R.; Raman, A. And Heijnen, H.A. Filtración lenta en arena, Tratamiento de agua para comunidades: planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento, Cinara. Cali, Colombia, 1992. 163 p.



METODOLOGÍAS PARA EL DESARROLLO DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN MULTIDISCIPLINARES

Miguel A. Aroca, Johann F. Osma¹

CMUA. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de los Andes, Colombia.

56

En el siguiente trabajo tres metodologías para el desarrollo de grupos multidisciplinarios son abordadas. Cada metodología presente claras ventajas y desventajas, pero todas en su conjunto buscan explorar el gran reto de cómo construir y mantener un grupo multidisciplinario. Estas metodologías se basan en el liderazgo, la promoción de la interacción interdisciplinaria o el conocimiento como motor de impulso e integración. Al mismo tiempo cada una establece las prioridades que hay que resolver para proyectar una metodología que permita a académicos jóvenes y experimentados constituir mejores redes y grupos multidisciplinarios.

Palabras-clave: grupos multidisciplinarios; estrategia de investigación; innovación en investigación

1 INTRODUCCIÓN

La visión y trabajo multidisciplinario de investigación y desarrollo sustentada en la colaboración de conocimiento como una fuente de competitividad y respuesta a las complejas exigencias del mundo moderno, es un fenómeno que a la fecha se ha extendido a los distintos campos de la sociedad, de la ciencia y la tecnología, ejemplo de ello son los nuevos enfoques de trabajo dentro de las organizaciones contemporáneas (Siedlok, Hibbert, & Sillince, 2015), los estudios para la inclusión de los mercados laborales en la sociedad (Suerdem & Oztaysi, 2015), las investigaciones y aplicación del conocimiento en las ciencias de la salud (Domaracka, Grygiel, Méry, Bouffard, & Cassimi, 2015), la recuperación, integración y comprensión de materiales excavados dentro de la investigación arqueológica (Innes, 2015), en el desarrollo de nuevas tecnologías en las ramas de la ingeniería, como por ejemplo, la Ingeniería biomédica (Villa & Urgiles, 2012), en los estudios nanotecnológicos de predicción de riesgos ambientales (Bottero et al., 2015), entre otras disciplinas.

Sin embargo, al momento de construir un grupo multidisciplinario para hacer trabajo de investigación y desarrollo surgen cuatro aspectos que causan inconvenientes (Jing Zhang et al., 2011). En primer lugar, el ambiente académico, debido a que profesores jóvenes se enfrenta a la presión de producir una serie de publicaciones de calidad dentro de un corto período de tiempo y esto induce a evitar involucrarse en proyectos interdisciplinarios que normalmente se ejecutan a largo plazo antes de que los datos se pueden presentar en forma de una publicación (Jing Zhang et al., 2011). El segundo reto se relaciona con las dificultades metodológicas de la colaboración interdisciplinaria (Jing Zhang et al., 2011). Un tercer reto para la investigación en colaboración es la dificultad para manejar un equipo de investigadores de distintas disciplinas

¹ E-mail: ma.aroca@uniandes.edu.co; jf.osma43@uniandes.edu.co Recebido em 25.10.2015 – Publicado em 10.12.2015

(Jin Zi-qi, Jiang Hua, & Wang Xiao-hong, 2011),(Jing Zhang et al., 2011). Y por último, la falta de mecanismos prescritos para la gestión de los procesos utilizados para realizar la investigación en un ambiente académico, tales como la composición, el mantenimiento y la renovación (Jing Zhang et al., 2011). Esto conlleva a la pregunta ¿Cómo creamos, y más importante cómo sostenemos, los equipos de investigación de múltiples disciplinas?

En esta investigación se presentan tres enfoques de distintos autores para la conformación de grupos multidisciplinarios de investigación y desarrollo y dar respuesta a este interrogante; el enfoque de los autores M. L. Disis and J. T. Slattery (Disis & Slattery, 2010); el enfoque de los autores Jin Zi-qi, Jiang Hua, and Wang Xiao-hong (Jin Zi-qi et al., 2011); y el enfoque de la línea de investigación Biomicrosistemas del grupo CMUA (Centro de Microelectrónica de la Universidad de los Andes).



2 METODOLOGÍAS

2.1 EL LIDERAZGO COMPARTIDO COMO BASE DE DESARROLLO

El enfoque propuesto por M. L. Disis y J. T. Slattery (Disis & Slattery, 2010) orientados a la Salud Humana y al fenómeno denominado Investigación Traslacional, busca que toda investigación y avance científico sea traducido a la intervención y tratamientos clínicos mediante el trabajo conjunto de las distintas gamas de las disciplinas, especialidades, expertos y educadores; y de esta manera, hacer frente a los problemas de salud que están plagando nuestra sociedad; por ejemplo, la resolución de la epidemia de obesidad, que requiere la interacción de investigadores que estudian el metabolismo de los lípidos, la genética y el crecimiento celular; endocrinólogos, pediatras, internistas, cirujanos, fisiólogos del ejercicio, nutricionistas, investigadores del comportamiento, psicólogos y economistas.

Este enfoque expone que los equipos de investigación multidisciplinarios exitosos requieren, primero, liderazgo transformacional capaz de desarrollar una visión compartida dentro del equipo y mantenerlo a través del tiempo. En este aspecto el autor propone que el líder debe ser motivador, moderador, mentor y con la capacidad de conectar grupos dispares. Para ello el líder debe sacrificar los propios intereses, controlar los individuos dominantes, asegurarse de que todos los miembros se reconozcan y garantizar que los proyectos y los recursos se ajustan a los intereses y las prioridades del equipo. Aquí la importancia del papel de mentor del líder del equipo inicial no puede ser subestimada, aunque cabe resaltar, que durante el proceso de pensamiento conectivo, todos los miembros pueden llegar a tener un papel como líder del grupo en algún momento a medida que se desarrollan nuevos proyectos con enfoque cambiante, esto significa que el flujo bidireccional de la investigación multidisciplinaria, exige un liderazgo compartido; por lo tanto las organizaciones necesitan identificar a sus líderes transformacionales y fomentar el desarrollo del equipo multidisciplinario con su ayuda.

Como segundo aspecto se debe entrar a analizar la infraestructura, ésta debe ser valorada y compartida por todos los miembros del equipo. Para ello se debe evitar gastar un valioso capital

en un recurso que sirve sólo a una fracción de las personas que trabajan en un problema particular dentro del grupo, y por el contrario buscar una solución que abarque muchas áreas. Una de esas soluciones propuestas por el autor es que otros líderes en varios departamentos pueden contribuir al desarrollo de este recurso, lo que minimiza los costos del grupo; todo esto sin olvidar el desarrollo de espacios compartidos y fondos institucionales para facilitar el desarrollo del equipo.

Y por último, el autor propone como el elemento final para el éxito multidisciplinario, el aprendizaje y el reconocimiento de que la estructura dinámica de un equipo, en sí mismo, requiere de un trabajo permanente, es decir, la existencia de una comunicación fácil basada en la educación de colaboración y respeto que permita el desacuerdo constructivo; para ello se debe mejorar la intimidad en equipo y la confianza; la educación debe ser el común denominador y no los títulos académicos, por lo tanto deben existir espacios de dispersión donde los lazos de amistad sean fortalecidos y donde se pueda aprender más unos de otros y donde cada individuo sea el alumno y el profesor, de esta manera en el rol de estudiante se sale de los egos de la experiencia, y en el papel de docente se mejora la confianza y las habilidades de liderazgo de los otros miembros.

2.2 LA INTERACCIÓN MULTIDISCIPLINAR COMO BASE DE DESARROLLO

Por otro lado la perspectiva de innovación de conocimientos estáticos y dinámicos propuesto por Jin Zi-qi y su equipo (Jin Zi-qi et al., 2011), establece mecanismo interno para la generación de nuevo conocimiento interdisciplinar desde la perspectiva de la innovación del conocimiento.

Este enfoque parte de la existencia de tres dimensiones fundamentales del conocimiento interdisciplinario; en primera instancia el conocimiento propio de cada disciplina, basado en la selección y empleo adecuado de los conocimientos disciplinarios de cada miembro del grupo; segundo, avance investigativo a través de la integración, que muestra el grado de articulación de los conocimientos de distintas disciplinas y su comprensión por parte del grupo; y tercero, la conciencia crítica, la cual permitirá ver el claro sentido del propósito de la investigación mediante la autocrítica.

Los autores proponen que para lograr una verdadera innovación del conocimiento de la investigación interdisciplinaria, estas tres dimensiones deben ser tratadas mediante la visión estática y dinámica de la ciencia, es decir mediante la combinación de una visión sistematizada y de saberes relativamente permanentes, con una visión de autodescubrimiento que permite la construcción de nuevos conocimientos.

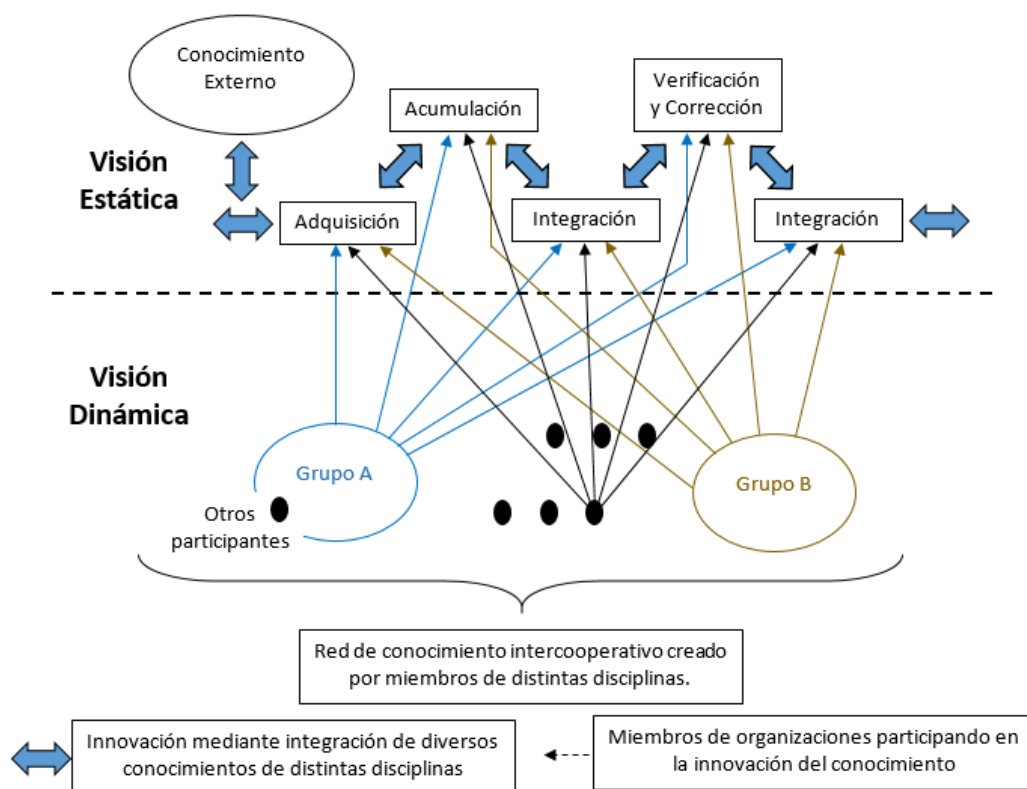
En la visión estática se establece un procedimiento basado en cinco etapas para la innovación del conocimiento. La primera etapa es la adquisición del conocimiento, donde los miembros del grupo multidisciplinario tienen que detectar y definir los problemas en el proceso de las actividades de investigación de acuerdo con los objetivos interdisciplinarios de innovación del conocimiento de la organización. La segunda etapa es la acumulación de conocimientos, que se debe dar a través del aprendizaje continuo, esto garantiza un cúmulo de conocimiento

relevante para la próxima etapa de la innovación. La tercera etapa propuesta es la integración de conocimientos, esta se da mediante el uso de métodos interdisciplinarios o transformación recíproca de conocimiento explícito y conocimiento tácito, donde el primero son los conocimientos que pueden ser estructurados, almacenados y distribuidos, como expresiones matemáticas, especificaciones, procedimientos, etc. Y el segundo, los conocimientos que forman parte de nuestro modelo mental como fruto de nuestra experiencia personal, entre ellas, las creencias, valores, puntos de vista, intuición, etc. Para ello se debe seguir un proceso de socialización que permita la relación de conocimiento tácito a tácito, luego un proceso de exteriorización donde haya conversión de conocimiento tácito a explícito, más adelante un proceso de asociación o relación de conocimiento explícito a explícito, y por último un proceso de interiorización que permita la conversión de conocimiento explícito a tácito, para nuevamente repetir el proceso, teniendo en cuenta que cada vez que damos una vuelta a este ciclo creamos nuevo conocimiento y por ende un incrementando del mismo (Nonaka & Takeuchi, 1995). La cuarta etapa es la verificación y corrección del conocimiento, donde los investigadores deben revisar y corregir los nuevos conocimientos adquiridos mediante la innovación razonable. Y la última etapa es la transmisión del conocimiento, que garantiza la integración profunda del mismo.

Por otro lado la visión dinámica agregará a todo este proceso, diferentes enfoques, estilos cognitivos, métodos y soluciones, gracias a la interacción heterogénea de las distintas disciplinas, las cuales permiten una continua transmisión, intersección, deconstrucción, integración, reconstrucción y enlace del conocimiento y aún de los métodos aplicados. En la figura 1 se muestra la relación de estas dos visiones en la innovación del conocimiento.

Novos Saberes, v. 2, n. 2 (2015)

Figura 1: Innovación del conocimiento basado en la visión estática y dinámica, modificado de (Jin Zi-qi et al., 2011).



En la Figura 1 se aprecia que aunque existe una previa estructura propia de la visión estática, la interacción entre las distintas disciplinas generan una restructuración del conocimiento.

2.3 EL CONOCIMIENTO COMO BASE DE DESARROLLO

Por último, la línea de investigación Biomicrosistemas, línea multidisciplinaria del grupo de investigación CMUA (Centro de Microelectrónica de la Universidad de los Andes), enfocada principalmente al monitoreo medio ambiental, detección de compuestos peligrosos, tecnología para la defensa, tecnología para el sector aeroespacial y desarrollo de equipos, mediante el diseño y fabricación, por técnicas nanotecnológicas, de microsistemas, sensores y biosensores (Universidad de los Andes, 2015). Ha creado un esquema de trabajo basado en tres rutas con sus respectivas interacciones que permite la puesta en marcha de equipos de investigación de múltiples disciplinas como de su sostenimiento.

La primera ruta, Investigación del estado del arte, está compuesta por los estudiantes e investigadores que desean seguir una carrera científica completa, son los encargados de descubrir e inventar, de tomar riesgos fuertes; esto conlleva a una alta probabilidad de fallar, 70% de sus desarrollos no van a resolver el problema que se estudia. Esta ruta cuenta con un alto riesgo y un desarrollo a largo plazo, pero una alta remuneración si la investigación se traduce correctamente.

En la segunda ruta, Desarrollo de equipos y tecnología, se encuentran los estudiantes e investigadores interesados en el desarrollo de equipos nuevos y especializados, o planos específicos que facilitan el trabajo de las personas que participan en la primera ruta. Esto significa un cúmulo de herramientas y equipos que ayudarán a los investigadores a centrarse en sus objetivos y no en objetivos secundarios. Este camino comprende un riesgo medio y un desarrollo a medio plazo, y de la misma manera una remuneración moderada en caso de explotación.

Y la tercera ruta, Aplicación industrial y mercado, está prevista para que los nuevos desarrollos y tecnologías sean puestos en el mundo real, la industria o se conviertan en una nueva idea de emprendimiento. Estas personas trabajan por que cada invención o tecnología producida sea transformada en un producto atractivo para la industria. En este proceso, las personas tienen que leer y entender las necesidades del sector industrial y transformar las invenciones en algo sólido, tangible y, por supuesto, vendible.

Estas rutas no están enfocadas o limitadas a la profesión del candidato sino a sus intereses investigativos, por lo que el estudiante o investigador para poder unirse a alguna de estos caminos, deberá primero, identificar el camino que se desea seguir; segundo, preguntar por la formación adecuada; y tercero, identificar el proyecto en el que se está interesado.

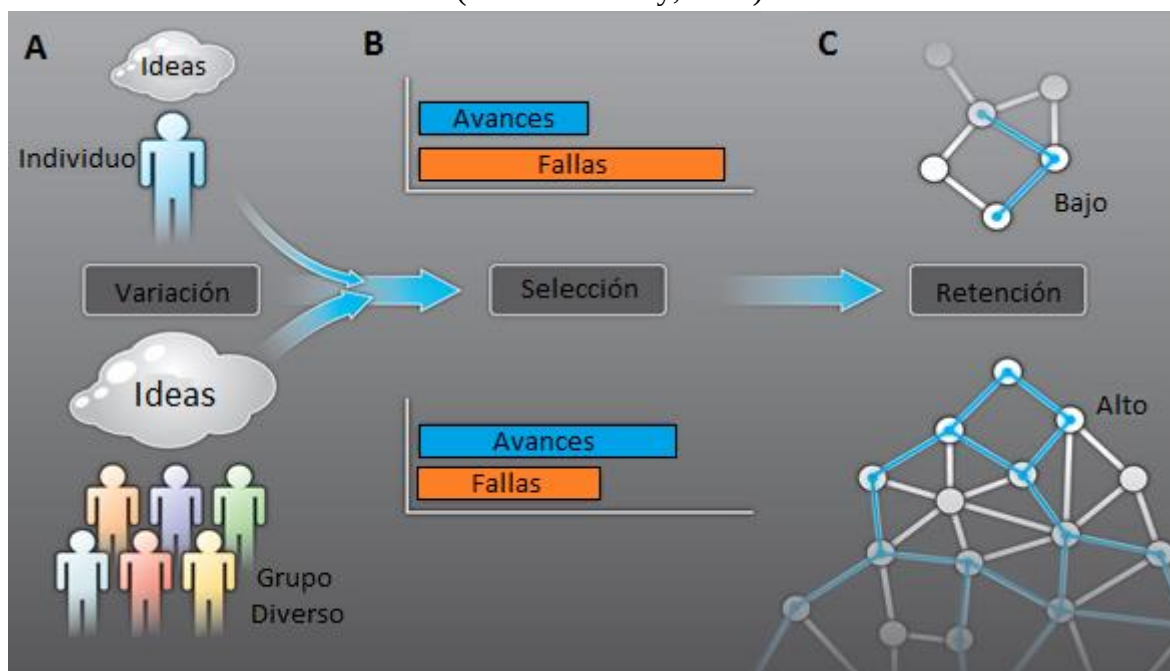
La línea de investigación Biomicrosistemas ha identificado aquellas cosas que saben cómo hacer. Ese saber hacer ha sido transcrito a una mesa en la que cada persona en el equipo cuenta con un nivel de formación en cada técnica conocida. Por lo tanto, si alguien tiene que utilizar una determinada técnica, deberá entrenarse con la persona que tenga esa formación, independiente de su origen, edad, tiempo en el equipo, etc. Y su único compromiso ante el grupo es que una vez entrenado, deberá entrenar a otros. En ese sentido, incluso el líder puede tener que pedir permiso y supervisión de utilizar ciertas técnicas si no está plenamente capacitado. Este modelo genera un dinamismo constante entre las distintas disciplinas del grupo y sus rutas.

Para resolver un problema real, los miembros de la línea de investigación deben escuchar y analizar las necesidades del usuario, conformar grupos interdisciplinarios, el líder encausa las soluciones propuestas a alguna área específica, por ejemplo, medio ambiente, comunicaciones, biotecnología, defensa, etc. Los grupos consolidan su propuesta y por último, se hace una retroalimentación y se selecciona la mejor solución.

3 RESULTADOS

La conformación de grupos multidisciplinarios para trabajos de investigación y desarrollo representa variedad de beneficios como, mayor rapidez de innovación (Jin Zi-qi et al., 2011), esto se evidencia gracias a los estudios propuestos por David Campbell en la teoría de la evolución de la creatividad citado por M. L. Disis and J. T. Slattery (Disis & Slattery, 2010), la cual define tres fases clave de la innovación; la primera fase, la variación; La segunda fase, la selección; y la tercera fase, la retención, (Fig. 2).

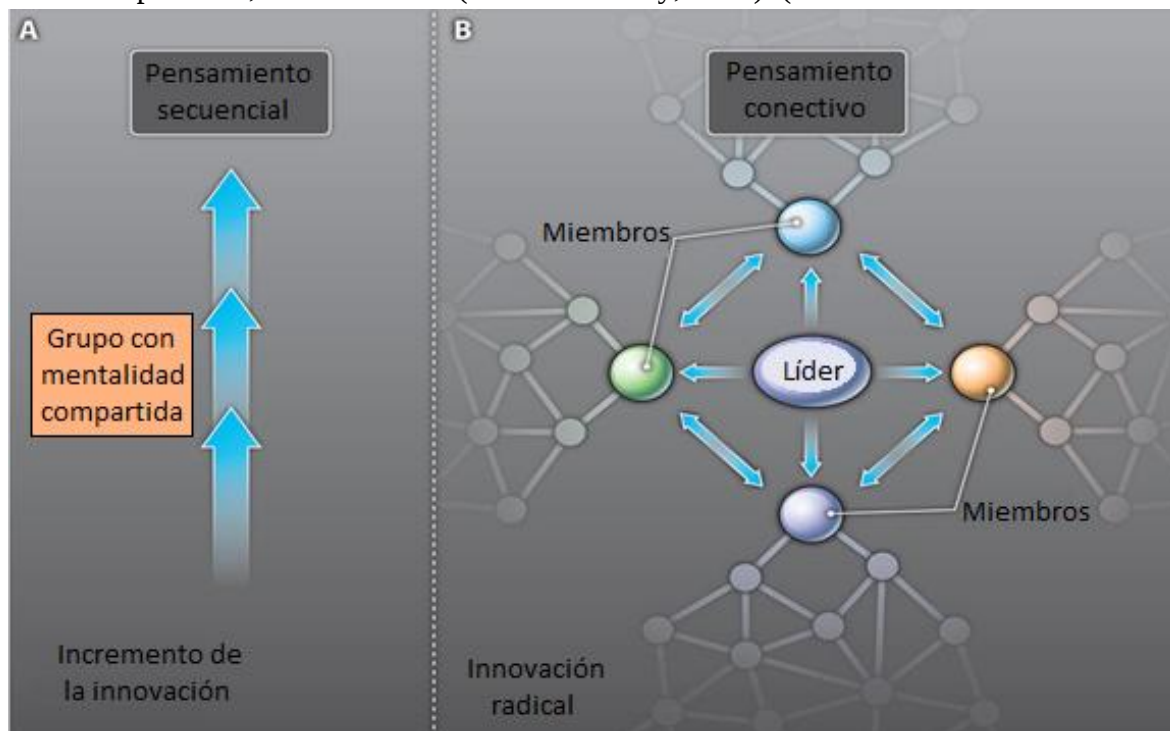
Figura 2: El efecto de la investigación del equipo en las fases de la innovación, modificado de (Disis & Slattery, 2010).



En la Figura 2, los equipos aumentan la innovación (A) durante la fase de variación debido a que más ideas se generan por el equipo que por un individuo. La revisión del equipo de los descubrimientos potenciales (B) optimiza el avance y limita los fracasos en comparación con la evaluación de un individuo de sus propias ideas sin los aportes de otros. Las redes asociadas con cada miembro del equipo (C) transmiten a mayor velocidad la idea dentro de la comunidad, lo que resulta en una alta retención del descubrimiento.

Un segundo beneficio es la probabilidad doble de que se citen las patentes desarrolladas por los grupos multidisciplinarios que las desarrolladas por los investigadores individuales, dado que estudios por parte de investigadores empresariales (Disis & Slattery, 2010) demuestran que las patentes de los equipos son 28% más propensas a estar en el percentil 95 que las patentes citadas por parte de los investigadores individuales; Por otra parte, las patentes de los equipos son 22% menos propensas a no tener citas en comparación con los inventos de los investigadores individuales (Disis & Slattery, 2010). Un tercer beneficio es el sostenimiento propio de la innovación, dado que los equipos compuestos por individuos con antecedentes y educación similar son más propensos a desarrollar una mentalidad compartida que se traduce en un pensamiento secuencial o poco imaginativo, mientras que las conexiones entre ideas muy diferentes de los miembros de un grupo multidisciplinario generan dinamismo lo que conlleva a innovaciones radicales (Fig. 3).

Figura 3: Las diferencias en el pensamiento creativo entre los equipos homogéneos y multidisciplinares, modificado de (Disis & Slattery, 2010).



De acuerdo con la Figura 3, los equipos con una mentalidad compartida (A) piensan de forma secuencial lo que da lugar a soluciones estándares. Por otro lado, los equipos multidisciplinares (B) desarrollan ideas enriquecidas con una red propia de cada miembro lo que permite aprender nuevo material de comunicación y establecer nuevas conexiones.

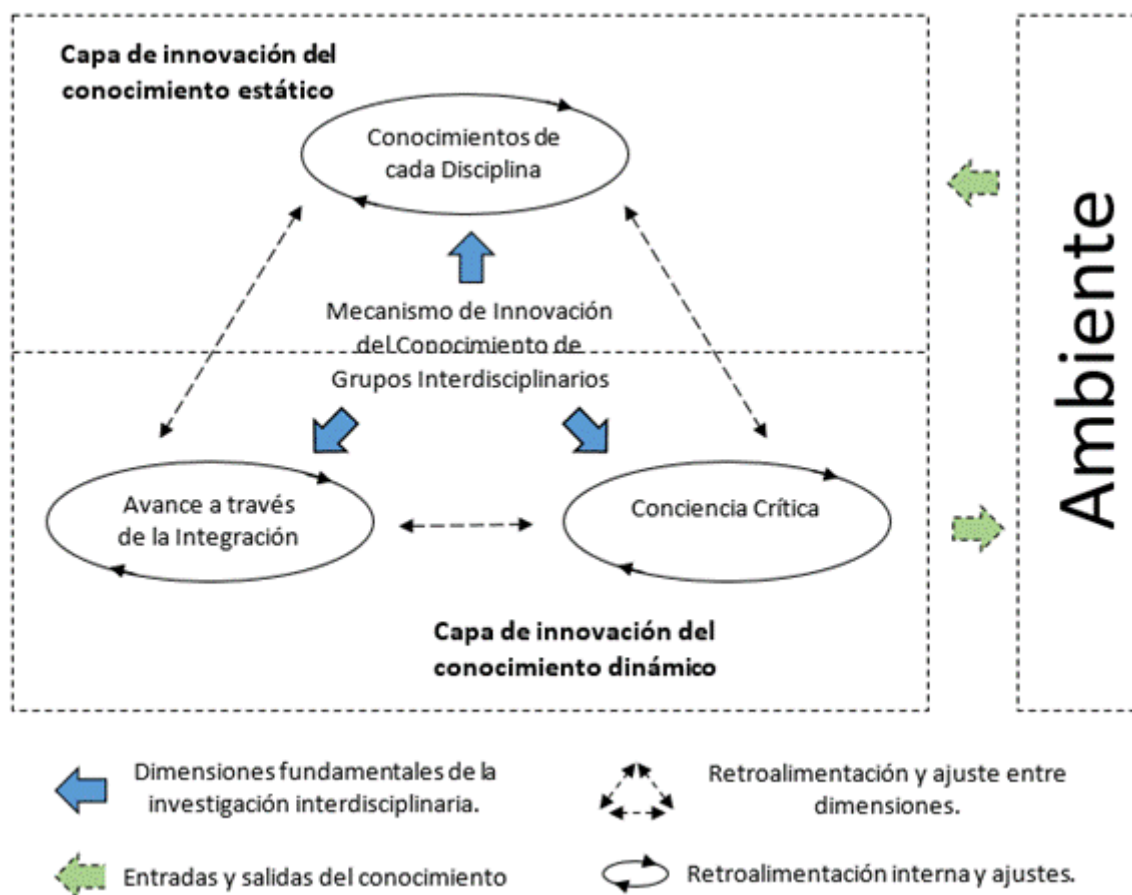
Un cuarto beneficio es la posición reconocida y mayor número de publicaciones para el grupo, esto último se evidencia en el aumento de la probabilidad de obtener una posición reconocida dentro de la academia y un mayor número de publicaciones por parte de los investigadores con tesis multidisciplinaria que los que no, esto es en parte el resultado de los diferentes tipos de trabajos realizado por cada egresado (Millar, 2013). Y un quinto beneficio, es el potencial de una visión holística e integrada de fenómenos complejos (Jing Zhang et al., 2011).

Mediante el enfoque de M. L. Disis y J. T. Slattery (Disis & Slattery, 2010), se obtiene un mecanismo de creación y sostenimiento de grupos multidisciplinares que permitirá el desarrollo de la investigación translacional orientada a la salud humana o en general, a cualquier otro campo. Este enfoque promete visión compartida dentro del equipo, liderazgo dinámico y compartido, infraestructura valorada y usada por todos los miembros del equipo, minimización de costos relacionado a la investigación y comunicación fácil basada en la educación de colaboración y respeto.

Jin Zi-qi y su grupo (Jin Zi-qi et al., 2011), por su parte han dejado establecido un documento que constituye un modelo de investigación interdisciplinaria basado en un mecanismo que equilibra la visión estática de adquisición, acumulación, integración, verificación, corrección, y transmisión del conocimiento, con la visión dinámica de generación de nuevos estilos cognitivos, métodos y soluciones. Esto promete una verdadera transformación del conocimiento con características de originalidad, mutación, conversión, activación, y valor

agregado. Además los autores han hecho un avance investigativo, al integrar dichos enfoques con las tres dimensiones básicas del conocimiento interdisciplinario; primero, el conocimiento propio de cada disciplina; segundo, el avance investigativo a través de la integración; y tercero, la conciencia crítica. Esta dinámica se aprecia en la figura 4.

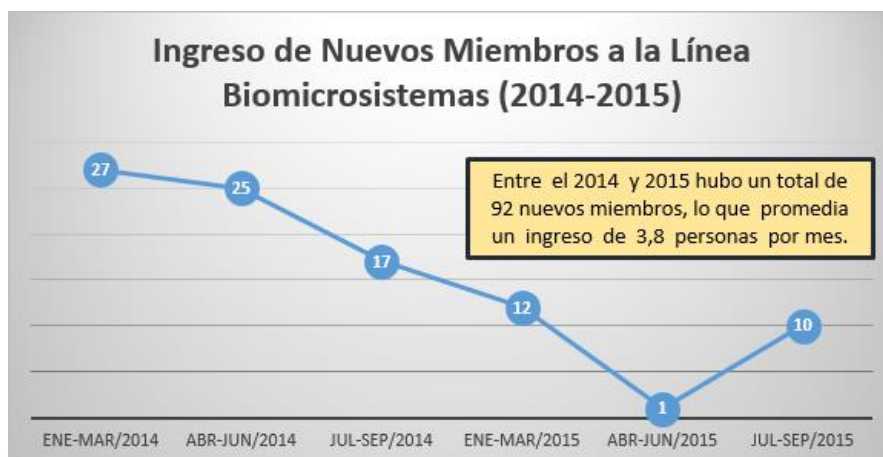
Figura 4: Modelo de investigación interdisciplinaria basada en la visión estática y dinámica para la innovación del conocimiento, modificado de (Jin Zi-qi et al., 2011).



Y mediante el enfoque de tres rutas no limitadas a la profesión del candidato sino a sus intereses investigativos y la identificación del saber hacer para la adquisición del conocimiento; La línea de Biomicrosistemas ha podido generar un ambiente académico y participativo mediante la asignación de un rol específico para cada miembro del grupo; se ha podido hacer investigación de desarrollo a largo plazo al mismo tiempo que tener un catálogo de productos y desarrollos para ofrecer, y se ha generado un verdadero liderazgo transformacional, dado que se valora a cada miembro del grupo, logrando generar después de la capacitación y la comunicación basada en la educación de colaboración y respeto que permite el desacuerdo constructivo, una visión compartida.

Esto ha generado un alto ingreso de nuevo personal de distintas disciplinas al grupo (Fig. 5), una amplia perspectiva multidisciplinaria (Fig. 6) y un desarrollo en las siguientes áreas: monitoreo ambiental, detección de compuestos peligrosos, tecnología para la defensa, tecnología para el sector aeroespacial y desarrollo de equipos y tecnología para distintos fines.

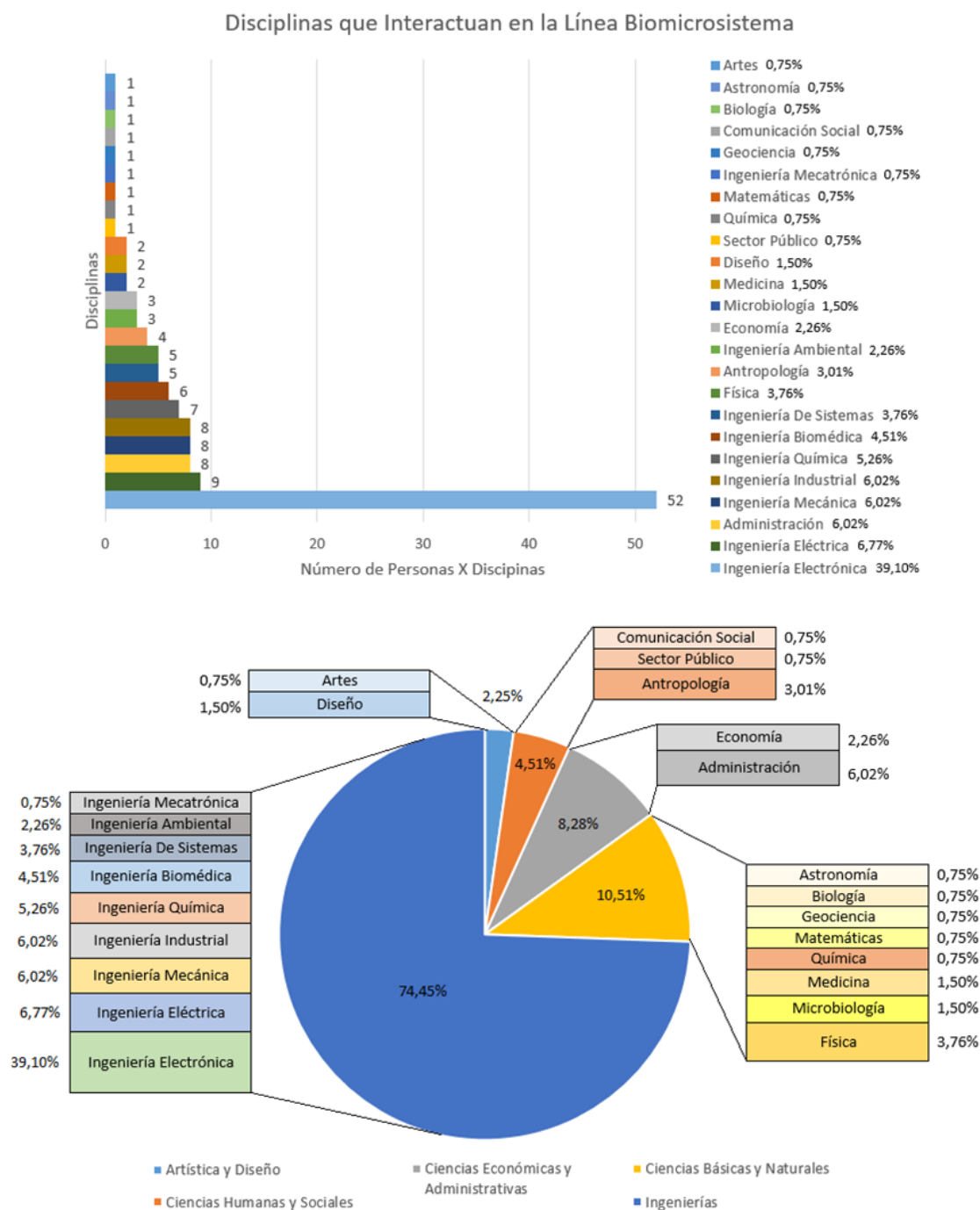
Figura 5: Ingreso de Nuevos Miembros a la Línea Biomicrosistemas (2014-2015).



Esta información fue recuperada de los documentos de firma de confidencialidad de la línea de Investigación de Biomicrosistemas, así como la información utilizada para componer la Figura 6.

En el área de Monitoreo Ambiental que comprende la detección de gases y el monitoreo de residuos se han desarrollado Micro-respirómetros y fabricación de Biorreactores utilizando la tecnología de microfabricación. En el área de Detección de Compuestos Peligrosos que incluye el desarrollo de sensores y biosensores para cuantificar o identificar los compuestos en solución, se ha desarrollado un biomicrosistema que permite la toma de más de 90 análisis simultáneo para la detección de HPV (virus del papiloma humano) in-situ, portátil, de bajo costo y fácil de usar y leer (Urrego, Lopez, Ramirez, Ramirez, & Osma, 2015), biosensores para la detección de compuestos peligrosos en el agua, y los sistemas de reconocimiento óptico para el análisis en tiempo real de microfluidos (Gonzalez-rivera & Osma, 2015) y estudios de flujo de sangre, que permiten administración de fármacos dentro de las arterias artificiales, la reconstrucción en 3D de la microfluídica, análisis del líquido y el seguimiento de partículas. En el área de Tecnología para la Defensa, el desarrollo de material explosivo por la detección de gases, desarrollo de hidrofóbica y nanotecnología resistente al agua, y el desarrollo de sistemas de comunicación Electrónica de corto y medio alcance integrado en trajes y accesorios. En el área de Tecnología para el Sector Aeroespacial, se han desarrollado microsistemas para la artesanía aeroespacial en el proyecto denominado PUA (Proyecto Aeroespacial de la Universidad de los Andes). Donde la línea de Biomicrosistemas ha estado a cargo de los componentes electrónicos que comprende la comunicación en tiempo real, sensores, procesadores, energía eléctrica y el control de encendido. Y en el área de Desarrollo de Equipos y Tecnología para Distintos Fines, Se han fabricado impresoras 3D en polímeros que pueden imprimir con una resolución de alrededor de $5\mu m^3$. Equipo para la Biotecnología, microfluídica y la nanotecnología en el proyecto de Smart Town (desarrollo de equipos diferentes para la experimentación de la biotecnología y la nanotecnología haciendo uso del Internet y los dispositivos Android). Y el desarrollo de varios equipos de laboratorio que pueden ser fácilmente replicados con tecnología totalmente de código abierto que incluye circuitos, modelos mecánicos y código de software.

Figura 6: Disciplinas que interactúan en la línea Biomicrosistemas.



4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES:

A manera de conclusión se presenta la siguiente tabla para el análisis de las ventajas y desventajas de cada uno de los enfoques desarrollados para la conformación y/o desarrollo de grupos multidisciplinarios y de su sostenimiento. (Tabla 1).

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de los Enfoques de Disis & Slattery, 2010; Jin Zi-Qi Et Al., 2011; y de la Línea de Investigación Biomicrosistemas para la conformación y/o trabajo de Grupos Multidisciplinarios.

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
DISIS Y SLATTERY, 2010	Manejo de distintas disciplinas mediante liderazgo compartido y sacrificio de los propios intereses. Solución al problema de infraestructura mediante el desarrollo de los recursos requeridos por otros miembros del grupo. Sostenimiento del grupo mediante la educación de colaboración, la comunicación clara y la generación de espacios de convivencia.	No hay medidas directas de resultados que garantice la eficacia de los métodos propuestos. No hay una metodología que evite la presión del ambiente académico. No hay un mecanismo claro y detallado que presente la estructura estática y/o dinámica para la adquisición e innovación del conocimiento.
JIN ZI-QI ET AL., 2011	Ruta completa para el aprovechamiento del conocimiento de la multidisciplinariedad. Mecanismo claro y detallado para la adquisición e innovación del conocimiento.	No hay una metodología que evite la presión del ambiente académico. No hay una metodología para el manejo de infraestructura. Limitado solo a nivel conceptual.
LÍNEA BIOMICROSISTEMAS	Manejo de distintas disciplinas mediante liderazgo compartido en el saber hacer. Solución al problema de infraestructura mediante el desarrollo de los recursos requeridos por otros miembros del grupo. Metodología que evite la presión del ambiente académico mediante el trabajo en tres caminos que permite hacer investigación de desarrollo a largo plazo al mismo tiempo que tener un catálogo de productos y desarrollos para ofrecer.	No hay un mecanismo claro y detallado que presente la estructura estática y/o dinámica para la adquisición e innovación del conocimiento. Riesgo de poca interacción del grupo en caso de faltar el líder, al solo compartir este rol en el saber cómo.

En particular es importante resaltar que cada metodología centra su sostenimiento en un concepto diferente. Disis y Slattery (Disis & Slattery, 2010) se enfoca en el liderazgo compartido y en el sacrificio de interés personales en pro del interés global. Aunque de forma general la línea de Biomicrosistemas persigue el mismo objetivo, este interés y liderazgo compartido se busca a través de un saber hacer colectivo, y como modelo busca poner al conocimiento como eje central de conexión. Por otro lado, Jin Zi-Qi y su grupo (Jin Zi-Qi Et Al., 2011) aprovecha la multidisciplinariedad como ruta para el mejor aprovechamiento del conocimiento, y la interacción de los miembros del grupo como su principal motor de conexión. A pesar de estas diferencias, cada metodología establece parámetros que auspician la

interacción de sus integrantes el perseguir iniciativas comunes y una mejor distribución de recursos.

5 REFERENCIAS

- Bottero, J.-Y., Auffan, M., Borschnek, D., Chaurand, P., Labille, J., Levard, C., ... Wiesner, M. R. (2015). Nanotechnology, global development in the frame of environmental risk forecasting. A necessity of interdisciplinary researches. *Comptes Rendus Geoscience*, 347(1), 35–42. <http://doi.org/10.1016/j.crte.2014.10.004>
- Disis, M. L., & Slattery, J. T. (2010). The road we must take: multidisciplinary team science. *Science Translational Medicine*, 2(22), 22cm9. <http://doi.org/10.1126/scitranslmed.3000421>
- Domaracka, A., Grygiel, C., Méry, A., Bouffard, S., & Cassimi, A. (2015). CIRIL: more than 30 years of interdisciplinary research at GANIL. *Journal of Physics: Conference Series*, 629, 011001. <http://doi.org/10.1088/1742-6596/629/1/011001>
- Gonzalez-rivera, J. C., & Osma, J. F. (2015). Fabrication of an Amperometric Flow-Injection Microfluidic Biosensor Based on Laccase for In Situ Determination of Phenolic Compounds. *Hindawi Publishing Corporation BioMed Research International*, 2015, 9. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1155/2015/845261>
- Innes, J. B. (2015). Interdisciplinary Archaeological Research Programme Maasvlakte 2. *Quaternary Science Reviews*, 125, 172–173. <http://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.08.002>
- Jin Zi-qi, Jiang Hua, & Wang Xiao-hong. (2011). A model of interdisciplinary research based on the double knowledge innovation view. *2011 International Conference on Management Science&Engineering 18th Annual Conference Proceedings*, 147–152. <http://doi.org/10.1109/ICMSE.2011.6069957>
- Jing Zhang, Luna-Reyes, L. F., Nakashima, M., Gil-Garcia, J. R., Sayogo, D. S., & Mellouli, S. (2011). Building and Sustaining a Transnational and Interdisciplinary Research Group: Lessons Learned from a North American Experience. *2011 44th Hawaii International Conference on System Sciences*, 1–10. <http://doi.org/10.1109/HICSS.2011.89>
- Millar, M. M. (2013). Interdisciplinary research and the early career: The effect of interdisciplinary dissertation research on career placement and publication productivity of doctoral graduates in the sciences. *Research Policy*, 42(5), 1152–1164. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2013.02.004>
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Recuperado de <https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=tmziBwAAQBAJ&pgis=1>
- Siedlok, F., Hibbert, P., & Sillince, J. (2015). From practice to collaborative community in interdisciplinary research contexts. *Research Policy*, 44(1), 96–107. <http://doi.org/10.1016/j.respol.2014.07.018>
- Suerdem, A., & Oztaysi, B. (2015). Interdisciplinary Collaboration of Engineers and Social

Researchers to Face Societal Challenges: Designing an E-Recruitment System for Disadvantaged Groups. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2566–2575. <http://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.451>

Universidad de los Andes. (2015). Research Areas and Projects. Recuerado October 14, 2015, <https://cmua.uniandes.edu.co/index.php/es/projects/prueba/34-researchlines/biomicrosistemas/329-biomicrosystem-areas>

Urrego, L. F., Lopez, D. I., Ramirez, K. A., Ramirez, C., & Osma, J. F. (2015). Biomicrosystem design and fabrication for the human papilloma virus 16 detection. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 207(Part A), 97–104. <http://doi.org/10.1016/j.snb.2014.10.036>

Villa, a. C., & Urgiles, F. (2012). Creation of the Biomedical Engineering Research Group GIIB-UPS at the Salesian Polytechnic University. *2012 VI Andean Region International Conference*, 185–187. <http://doi.org/10.1109/Andescon.2012.50>



Sobre los autores:

Miguel A. Aroca es Ingeniero electrónico egresado de la Universidad Popular del Cesar, Coinvestigador del Grupo de Telecomunicaciones, Informática y Control – GITIC en 2012, estudiante de Doctorado en Ingeniería Electrónica en la línea Biomicrosistemas del Grupo de Investigación CMUA (Centro de Microelectrónica de la Universidad de los Andes) en el área de nanotecnología y microsistemas.



Dr. Johann F. Osma es Ingeniero Electrónico con un M.Sc. en el área de microelectrónica de la Universidad de los Andes (Colombia). Inicio su carrera científica en el Centro de Microelectrónica (CMUA) de la misma universidad en 2001 en el área de micro y nanotecnologías. Luego, continuó su formación con un M.Sc. y un Ph.D. en Ingeniería Química, Ambiental y de Procesos en la Universitat Rovira i Virgili (España) en el área de bio-nanotecnología. Desde el 2010, se unió a la Universidad de los Andes como profesor, donde inició el área de investigación en biosensores y microsistemas fluídicos y hace parte del comité directivo de una Sala Limpia especializada en dichos temas.

FABRICATION OF FOLDING POLYMERIC THIN FILMS WITH HYDROPHILIC PROPERTIES

Natalia Lopez-Barbosa, Nicolas Zuluaga, Santiago Jumah, Johann F. Osma¹
CMUA. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad de los Andes, Colombia.

Polydimethylsiloxane (PDMS) sheets were used as a mold for the generation of low cost polymeric thin films. Poly(ethylene glycol) diacrylate average Mn 575, Poly(ethylene glycol) diacrylate average Mn 250 and Phenylbis (2, 4, 6-trimethylbenzoyl) phosphine oxide were used to create hydrophilic and hydrophobic thin films. The thickness of the films was highly dependent on the amount of the polymeric mixture and the pressure between the PDMS sheets. The hydrophobicity of the films was measured by observing the contact angle of a water drop on the film, as well as the degrees of folding when the film absorbed humidity. The films produced with Poly(ethylene glycol) diacrylate average Mn 575 were found to be hydrophobic, while the films produced with Poly(ethylene glycol) diacrylate average Mn 250 were found to be hydrophilic. Hydrophobic films fold when exposed to a drop of water on their surface. The time and the angle of folding were directly dependent on the thickness of the film. A relation between the relative mass of the thin film and the angle of folding was found.

Keywords: contact angle; polymeric mixture; humidity absorption.

1 INTRODUCTION

The manufacture of synthetic membranes has lately become a growing interest due to its multiple applications in covering surfaces and separation processes, among others. Synthetic membranes can be classified in accordance to their material into inorganic thin films (e.g. ceramics) and organic thin films (e.g. polymers) [1]. Among these, polymeric thin films have been preferred due to their relatively simple fabrication and low cost [2]. In the same way, polymer-based films can be categorized in accordance to their capacity to absorb or repel water as hydrophilic or hydrophobic [3]. Many studies are being made upon how to change the hydrophilic characteristics of polymeric membranes in order to overcome problems as fouling and permeability [2, 4-6]

The hydrophobic and hydrophilic characteristics of a particular material are a way of determining its wetting phenomena. Surface chemistry is often applied to determine the wetting behavior of a surface and the ways it can be modified [2, 3, 5, 7]. Short-ranged interactions such as van der Waals and electrostatic forces will determine whether or not a fluid wets a given surface [8]. When a droplet rests upon a solid surface, three interfaces are exhibit; solid-liquid, liquid-gas and solid-gas. The interactions between these ones raise three surface tensions that generate what is known as the contact angle [9]. If the three phases in the system (solid, liquid and gas) are in mechanical and chemical equilibrium (i.e. exhibit a force balance and there is a chemical potential matching for all of the present components) and there is a thermal

¹ E-mail: jf.osma43@uniandes.edu.co

equilibrium between the liquid and gas phases (i.e. there is a temperature matching between the liquid and gas phases so that the gas phase represents the saturated vapour of the liquid), the system is said to be in thermodynamic equilibrium [8] and therefore, it is represented by Young's relationship [9], which is shown in Equation 1.

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos(\theta_{eq}) \quad (1)$$

where γ_{SV} , γ_{SL} and γ_{LV} represent the solid-vapor, solid-liquid and liquid-vapor surface tensions respectively.

Theoretically, the shape of a droplet resting upon a solid surface is determined by the surface tensions acting on the liquid. However, in practice, the drop is often deformed by external forces such as gravity and, therefore, the contact angle is determined by a combination of both surface tension and inertial forces [10]. In order to know the ratio in which inertial and surface forces affect a drop of a particular liquid over a particular surface, the Weber number should be calculated. If the characteristic Weber number is > 1 , inertial forces dominate over surface tension forces. If the characteristic Weber number is < 1 , surface tension forces dominate over inertial forces, and therefore, Young's equation may be applied [9].

The equilibrium contact angle can then be associated to the wetting characteristics. Small contact angles, $< 90^\circ$, describe high wettability and are related to hydrophilic surfaces, while large contact angles, $> 90^\circ$, describe low wettability and are often related to hydrophobic surfaces. The range of how far the measured angle is from the 90° boundary will determine if it can be classified as a superhydrophilic or superhydrophobic surface [10].

In the current study, two sets of polymeric thin films were fabricated by ultraviolet A (UVA) polymerization using Poly(ethylene glycol) diacrylate average Mn 575 and Poly(ethylene glycol) diacrylate average Mn 250 respectively, with Phenylbis (2, 4, 6-trimethylbenzoyl) phosphine oxide as a photoinitiator. All the manufactured thin films were characterized in terms of their hydrophilic or hydrophobic behavior by means of their contact angle with a drop of water. The second set of thin films was found to be sensible to water due to an immediate folding reaction after the droplet touches the surface. A characterization study of the folding parameters such as folding angle, folding time and recovery time was performed. Further liquids, organic and inorganic, such as ethanol C_2H_6O , dichloromethane CH_2Cl_2 , hydrochloric acid HCl , ammonia NH_3 , acetic acid $C_2H_4O_2$, linseed oil and hydrogen peroxide H_2O_2 , were also dropped on both sets of membranes to observe any possible reaction.

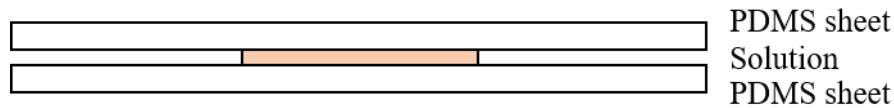
2 MATERIALS AND METHODS

2.1 POLYMERIC THIN FILMS

Thin films were generated using Poly(ethylene glycol) diacrylate average Mn 575, Poly(ethylene glycol) diacrylate average Mn 250 and Phenylbis (2, 4, 6-trimethyl benzoyl) phosphine oxide provided by Sigma-Aldrich®. Two types of solutions were studied. Solution A was made with 98mL of Poly(ethylene glycol) diacrylate average Mn 250 and 2g of Phenylbis (2, 4, 6-trimethylbenzoyl). Solution B was made with 98mL of Poly(ethylene glycol) diacrylate average Mn 575 and 2g of Phenylbis (2, 4, 6-trimethylbenzoyl).

A 5mL syringe was used to place 4, 6 or 8 drops of the desired solution between two polydimethylsiloxane (PDMS) sheets attached to a glass substrate as shown in Figure 1. No external pressure in addition to the upper PDMS sheet weight was exerted. The entire system was exposed to UVA radiation for 1 minute.

Figure 1 - Diagram of the thin films fabrication process.



The superficial area was set to 25mmx25mm for all created thin films. 3 different thicknesses, corresponding to 4, 6 and 8 drops of solution, were fabricated for each solution. 10 different thin films were obtained per thickness. A total of 60 thin films were studied.

2.2 EXPERIMENTAL SET-UP

Water drops were generated using a 5mL syringe (gauge 21, 38mm). The drops were released from a fixed height of 114.5 mm above the thin film surface. Repeated tests were made to determine the drop weight, which was found to be approximately 39.15mg. The characteristic drop diameter was calculated using Equation 2.

$$D_0 = \left(\frac{6m}{\pi r} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

where m is the drop mass.

The characteristic diameter was found to be 3.41 ± 0.1 mm. This value was used to calculate the free fall velocity of the droplet and the Weber number associated to it according to Equations 3 and 4.

$$v = \sqrt{2g(H - D_0)} \quad (3)$$

$$We = \frac{\rho v^2 D_0}{\sigma} \quad (4)$$

where H is the height of release of the drop of water, ρ is the density of water and σ is the surface tension.

The obtained Weber number was 0.5287 ± 0.001 , which means that surface forces dominate over inertial forces and, therefore, the shape of the drop of water on the surface can be assumed spherical.

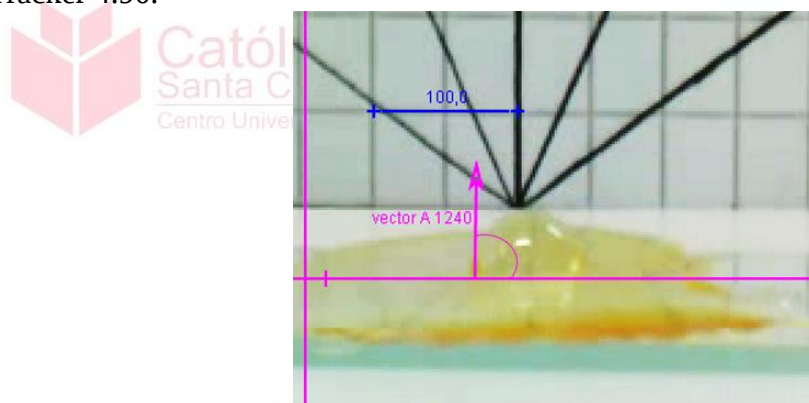
A digital camera was set horizontally aligned to the surface of the thin films and was used to record the impact and consequences of the water drop. The camera position, magnification and the thin film position were kept constant through all the experiments. A known length was used for calibration and forward data processing.

All 60 thin films were weighted using a ML 204 analytic balance from Mettler Toledo.

2.3 CONTACT ANGLE MEASUREMENT

Equilibrium contact angles were determined by video processing using the software Tracker 4.90. The contact angle of the sessile drop was measured in accordance to Young's equation as illustrated in Figure 2, where the contact angle is determined as the angle formed between the solid-liquid and the liquid-vapor interfaces. Young's model was assumed due to the fact that the thin films were characterized as a solid homogeneous system in thermodynamic equilibrium [8].

Figure 2 - Data processing for determining the equilibrium contact angle using the software Tracker 4.90.

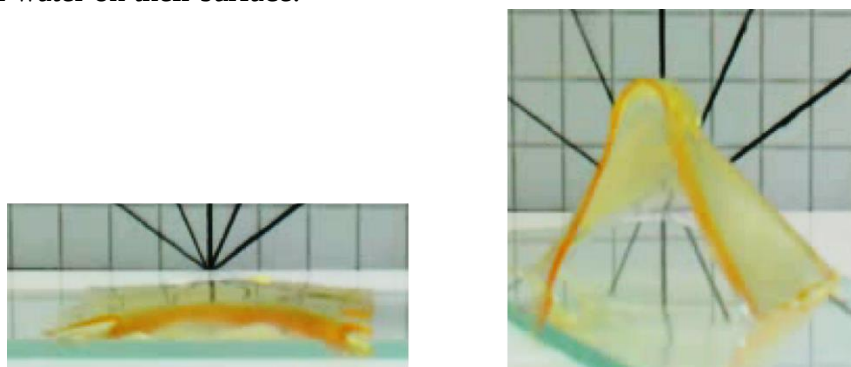


As shown in Figure 1, vector A818 represents the liquid-vapor interface, while the x axis represents the solid-liquid interface. A 100mm calibration stick is used.

2.4 FOLDING ANGLE, FOLDING TIME AND RECOVERY TIME FOR SOLUTION B THIN FILMS

When in contact with the drop of water, solution B thin films presented a mechanical reaction shown in Figure 3. In order to characterize their properties, the folding and recovery time were measured. Folding time was determined from the instant of contact between the droplet and the film's surface to the point in which the system reached mechanical equilibrium. Recovery time was measured from the moment when the drop of water was removed from the surface of the film till it returned completely to its initial position. Measurements were obtained using the software Tacker 4.90. A study of the maximum folding angle of solution B thin films was also conducted.

Figure 3 - Initial (left) and final (right) position of solution B thin films when exposed to a drop of water on their surface.



4 RESULTS AND DISCUSSION

4.1 THIN FILMS CHARACTERISTIC PROPERTIES

All thin films were characterized in terms of surface dimensions, mass and surface aspect before being exposed to water. Descriptive statistics of the mass are shown in Table 1 and surface dimensions descriptive statistics are shown in Table 2.

Table 1 - Descriptive Statistic Indicators of the Thin Film's Mass Before Water Exposure

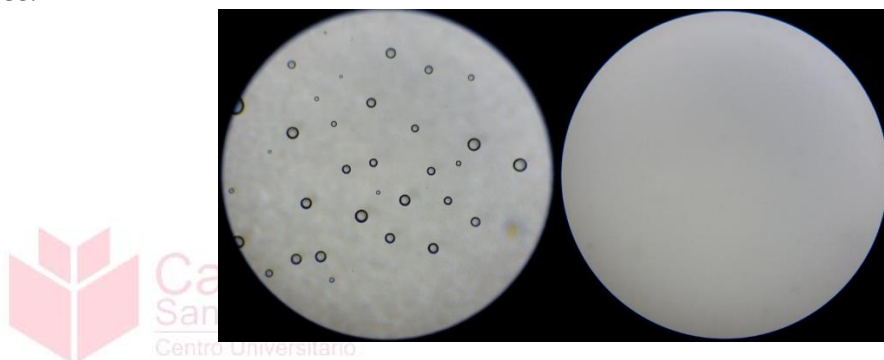
Statistic Indicators	Mass (mg)					
	Solution A			Solution B		
	4	6	8	4	6	8
Mean (μ)	92.1	121.6	205.1	117.74	156.34	216.33
Standard deviation (s)	12.1	10.8	11.7	24.01	29.81	35.65
Variance (σ^2)	146.41	116.64	136.89	576.71	888.82	1270.99

Table 2 - Descriptive Statistic Indicators of the Thin Film's Dimensions Before Water Exposure

Statistic Indicators	Dimensions (mm)					
	Solution A			Solution B		
	4	6	8	4	6	8
Mean (μ)	25.01x24.98	24.99x25.01	25.02x24.98	25.01x25.01	25.00x24.99	24.99x24.99
Standard deviation (s)	0.12	0.02	0.08	0.11	0.09	0.06
Variance (σ^2)	0.0144	0.00004	0.0064	0.0121	0.0081	0.0036

The surface aspect was observed using a Euromex BioBlue binocular microscope with a 100x magnification, 0.25 aperture achromatic objective. Two types of surfaces were found randomly distributed among all 60 thin films. As observed in Figure 4, the surface was either completely smooth and homogeneous, or with small holes on it.

Figure 4 - Microscopic images of the different types of surfaces randomly distributed among the 60 thin films. Left shows a surface with small holes. Right shows a flat homogeneous surface.



An analysis of variance (ANOVA) with a 0.05 significance was realized to determine if the 3 studied widths were statistical different. A Fisher's least significant difference (LSD) test was studied. All three used thicknesses were found to be different in terms of the mass of the film.

4.2 CONTACT ANGLE MEASUREMENTS

The contact angle values for solution A films oscillated between 28.7° and 36.4°. For solution B, the observed contact angle was between 55.6° and 94.4°. Since the contact angle of solution A thin films was $< 90^\circ$, the thin films are said to be hydrophilic. In the same way, solution B films presented a contact angle which, except for 2 films, was 90° , which means that they can be said to be hydrophilic. However, the mean value of the contact angle was 84.6°, which means that solution B thin films are just slightly hydrophilic.

An ANOVA was used to determine if there was a dependence between the thickness of the membrane and the contact angle of the drop. The statistical analysis indicated that there is no significant difference ($\alpha=0.05$) between the three used thicknesses in terms of the contact angle, which suggests that the contact angle is a property of the used solution rather than the mass of the film.

Similarly, an ANOVA was calculated to determine a relation between the aspect of the surface of the film and its contact angle. It was found that there is no effect of the surface being smooth or with holes in terms of the contact angle of the drop of water.

4.3 FOLDING ANGLE OF SOLUTION B FILMS

The maximum folding angle of the 30 films made up with solution B was determined at the point where the film reaches thermodynamic equilibrium with the drop of water. The average

and the standard deviation of the observed folding angle are shown in Table 3.

Table 3 - Descriptive Statistic Indicators of the Folding Angle of Solution B Thin Films

Folding Angle (°)			
Statistic Indicators	4	6	8
Mean (μ)	49.54	115.48	49.94
Standard deviation (s)	17.06	24.66	10.62

The ANOVA test revealed that the folding angle of the three different thicknesses is statistically different with a significance of 0.05. As shown by the data set, the folding angle of the intermediate thickness was greater than the ones corresponding to thicknesses 4 and 8. In addition, LSD test showed that only this angle was significantly different from the other two, which means that the films manufactured with 6 drops of solution B folded less than the ones fabricated with 4 and 8 drops.

4.4 FOLDING AND RECOVERY TIME OF SOLUTION B THIN FILMS

Since solution B thin films presented a folding reaction when exposed to a drop of water, a study was performed in terms of their folding and recovery time. Tables 4 and 5 show the mean and standard deviation of the acquired data.

Table 4 - Descriptive Statistic Indicators of the Folding Time of Solution B Thin Films

Folding Time (s)			
Statistic Indicators	4	6	8
Mean (μ)	50.1	42.9	58.5
Standard deviation (s)	15.47	16.89	19.69

Table 5 - Descriptive Statistic Indicators of the Recovery Time of Solution B Thin Films

Recovery Time (s)			
Statistic Indicators	4	6	8
Mean (μ)	250.9	143.2	420.3
Standard deviation (s)	30.49	45.39	140.47

An ANOVA test was performed for each of the observed times. Results show that while the recovery time between the films was different, the mean folding time of the 3 studied thicknesses was statistically the same. Moreover, the LSD test showed that the recovery time of the films fabricated with 6 drops of solution B was smaller than that of the remaining ones. This makes sense taking into account that the folding angle of the intermediate thickness films was greater than the one of the films manufactured with 4 and 8 drops, making the movement required for returning to the initial position of the last ones greater.

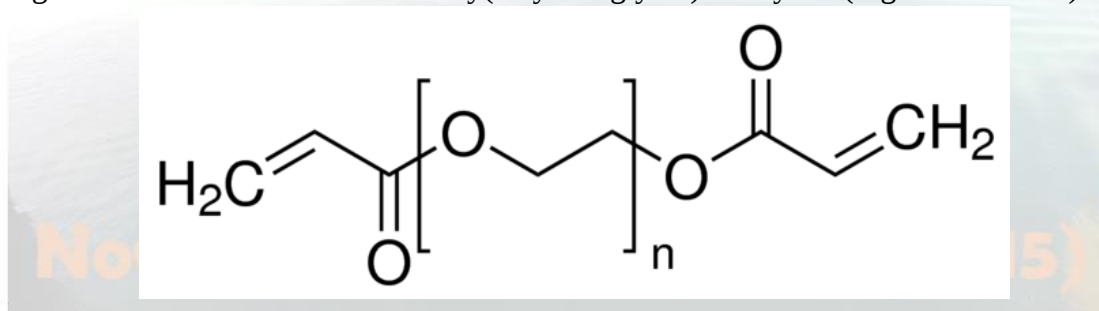
4.5 DISCUSSION

Contact angle measurements provided information of how hydrophobic or hydrophilic towards water the fabricated thin films were. Solution A thin films showed a mean contact angle of 30.1° , showing that the films are highly hydrophilic. In contrast, solution B thin films exhibited a mean contact angle of 84.6° , which means that the films are just in the border between being hydrophilic or hydrophobic. This is probably due to the fact that solution A polymer has a smaller number average molecular weight (M_n) than solution B. Having a smaller M_n implies a smaller size of the molecule, which provides a higher number of molecules per volume. Since the thickness of the polymer is controlled by the amount of volume of the used solution, it is sensitive to say that solution A thin films contain a larger number of molecules than solution B thin films, making solution A thin films more polar than those of solution B.

Solution B thin films were found to react when a drop of water touched their surfaces by folding themselves in the direction opposite to the location of the drop, while solution A thin films remained stand still after exposed to water. This was interesting to observe due to the fact that both solutions are made up from the same polymer and photoinitiator in exactly the same proportions. However, the Mn of solution A polymer was 250 while the Mn of solution B polymer was 575 as stated in the specifications provided by Sigma-Aldrich®.

The M_n indicates the statistical average molecular weight of the total number of polymer chains in the sample [11]. According to this, the number of polymer chains in solution A is smaller than that one of solution B. Figure 5 shows the chemical structure of Poly(ethylene glycol) diacrylate.

Figure 5 - Chemical structure of Poly(ethylene glycol) diacrylate (Sigma-Aldrich®).



Since the presence or not of a folding reaction on the thin film depends on the number of polymer chains in the material and not on the material itself, this reaction can be said to be a consequence of a change in a colligative property between solutions A and B. It appears to be that there is a relation between the folding reaction and the polarity of the thin film. Folding reaction of solution B thin films makes them be hygroscopic [12]. As a matter of fact, polyethylene glycol is a polar polymer and its hygroscopic properties have been already studied somewhere else [13, 14]. As observed in Figure 5, poly(ethylene glycol) diacrylate has an ester terminal functional group. This generates a dipole moment in the molecule, responsible for its polarity. It is important to take into account that the polymer is in a rigid-solid matrix that is organized randomly within the film, which limits the intermolecular movement. By definition of polarity, a polar molecule will have more affinity towards an equally polar molecule. Since water is a highly polar molecule, solution A thin films, which are more polar than solution B thin films, have a better affinity towards water. This implies that when the drop of water touches

the surface of solution B thin films, the polymer will try to decrease the contact area due to the lack of affinity as a consequence of the difference in polarity. Since the polymer is fixed in a matrix, the attempt of reorganizing itself to expose the most polar part of itself ends up in a folding reaction of the entire matrix. Moreover, the proportion of the backbone chain towards the terminal functional groups can be calculated from the M_n of each of the solutions. Each of the terminal functional groups have a molecular weight of approximately 71g/mol, which results in a 142g/mol contribution from the terminal functional groups. In addition, the backbone chain has a molecular weight of approximately 44g/mol. This means that solution A thin films contain approximately 2.45 unities in between the acrylate groups while solution B thin films contain approximately 9.8 unities. Therefore, the effect of the terminal functional groups on solution A is way higher than that of the backbone chain, which reinforces the idea that solution A thin films are more polar than the ones manufactured with solution B.

In order to confirm these ideas, both sets of thin films were exposed to different organic and inorganic liquids of diverse polarity. Table 6 shows the qualitative results of whether or not a folding reaction was observed. In every case, one drop of the studied liquid was placed on the surface of the film.

Table 6 - Qualitative Study of a Folding Reaction of Solution A and Solution B Thin Films When Exposed to Different Liquids

Liquid	Solution A Thin Films	Solution B Thin Films	Dipole Moment
H_2O_2	No	Yes	2.24D
H_2O	No	Yes	1.85D
$C_2H_4O_2$	No	Yes	1.74D
C_2H_6O	No	Yes	1.69D
CH_2Cl_2	No	Yes	1.60D
NH_3	No	Yes	1.47D
HCL	No	Yes	1.08D
Linseed Oil	No	No	Non-polar

As observed in Table 6, solution B thin films showed a reaction towards almost all of the tested liquids while solution A thin films didn't showed a reaction at all. This can be in part due to the fact that the tested liquids are encountered, in many cases, as a solution in water rather than in pure form. As expected, none of the thin films reacted towards linseed oil due to its non-polarity behaviour. However, solution B thin films showed a decrease in response time (i.e. the folding took place faster) when the dipole moment of the exposed liquid increased. This could be potentially characterized and used as a method of determining the polarity of unknown solvents. The observed relation between the folding rate and the polarity of the dropped liquid sustains the idea that the reaction is a consequence of polarity affinity that produces a reduction in the solid-liquid interphase area.

Moreover, both sets of thin films were exposed to vapor from boiling water and NH_3 gas. When exposed to NH_3 in gas form, neither of the thin films presented a reaction. Nevertheless, it is suspected that a significant increase in the concentration of NH_3 could be detected. Contrary, when exposed to water vapor, both sets of thin films exhibit a folding reaction, although solution B thin films showed a faster and more abrupt one. This could be due to the higher

polarity presented by vapor water in comparison with NH_3 . However, since the experimental setup involved the exposure at a greater temperature, the contraction may not necessarily be a consequence of polarity. Baird et al. [14] showed that an increase in temperature of a polyethylene glycol will increase its hygroscopic effects due to the endothermic phenomena of the dissolution of the polymer in water.

5 CONCLUSIONS

An effect upon the hygroscopic properties of thin films manufactured with poly(ethylene glycol) diacrylate and phenylbis (2, 4, 6-trimethylbenzoyl) was observed when changing the Mn of the polymer from 250 to 575. Solution B thin films (Mn=575) exhibit a folding reaction when exposed to a drop of water. The response and recovery time as well as the folding angle was studied for three different thicknesses. It was found that the best reaction was produced for films above or below 6 drops of solution. In addition, solution A and solution B thin films exhibited a considerably different contact angle, which exhibit that solution A films were highly hydrophilic while solution B films were just in between the margin of being hydrophilic or hydrophobic. This gave an insight of solution A thin films being more polar than those produced from solution B. Hygroscopy was encountered to depend upon the Mn of the polymer, which had an effect upon the polarity of the polymeric matrix. In addition, it was observed that the response time of the folding reaction decreased when increasing the dipole moment of the exposed liquid. This aspect could be characterized and used as a way of sensing the polarity of unknown solutions. Finally, it would be interesting to study till what extent can solution B thin films be used as non-energized actuators due to their relatively fast response and recovery time.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to express their gratitude to the Electrical and Electronics Engineering Department of University of los Andes

6 REFERENCES

1. Ng LY, Mohammad AW, Leo CP, Hilal N: Polymeric membranes incorporated with metal/metal oxide nanoparticles: A comprehensive review. *Desalination* 2013, 308:15-33.
2. Li M-S, Zhao Z-P, Wang M-X: Controllable modification of polymer membranes by LDDL plasma flow: membrane module scale-up and hydrophilic stability. *Chemical Engineering Science* 2015, 122:53-63.
3. Song D, Song B, Hu H, Du X, Ma Z: Contact angle and impinging process of droplets on partially grooved hydrophobic surfaces. *Applied Thermal Engineering* 2015, 85:356-364.
4. Jamshidi Gohari R, Korminouri F, Lau WJ, Ismail AF, Matsuura T, Chowdhury MNK, Halakoo E, Jamshidi Gohari MS: A novel super-hydrophilic PSf/HAO nanocomposite ultrafiltration membrane for efficient separation of oil/water emulsion. *Separation and Purification Technology* 2015, 150:13-20.

5. Garcia-Ivars J, Iborra-Clar M-I, Alcaina-Miranda M-I, Van der Bruggen B: Comparison between hydrophilic and hydrophobic metal nanoparticles on the phase separation phenomena during formation of asymmetric polyethersulphone membranes. *Journal of Membrane Science* 2015, 493:709-722.
6. Wang F, Zhu H, Zhang H, Tang H, Chen J, Guo Y: Effect of surface hydrophilic modification on the wettability, surface charge property and separation performance of PTFE membrane. *Journal of Water Process Engineering* 2015, 8:11-18.
7. Durian DJ, Franck C: Wall phenomena in a critical binary mixture. *Physics Review Letters* 1987, 59:555.
8. Bonn D, Eggers J, Indekeu J, Meunier J, Rolley E: Wetting and spreading. *Reviews of Modern Physics* 2009, 81(2):739-805.
9. Bertola V, Wang M: Dynamic contact angle of dilute polymer solution drops impacting on a hydrophobic surface. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 2015, 481:600-608.
10. Yuan Y, Lee TR: Contact Angle and Wetting Properties. In: *Surface Science Techniques*. Edited by Bracco G, Holst B, vol. 51: Springer Berlin Heidelberg; 2013: 3-34.
11. Technologies A: Polymer Molecular Weight Distribution and Definitions of MW Averages. In. Edited by Technologies A; 2015: 4.
12. Davies JF, Haddrell AE, Rickards AMJ, Reid JP: Simultaneous Analysis of the Equilibrium Hygroscopicity and Water Transport Kinetics of Liquid Aerosol. *Analytical Chemistry* 2013, 85(12):5819-5826.
13. Cohen S, Marcus Y, Migron Y, Dikstein S, Shafran A: Water sorption, binding and solubility of polyols. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions* 1993, 89(17):3271-3275.
14. Baird JA, Olayo-Valles R, Rinaldi C, Taylor LS: Effect of molecular weight, temperature, and additives on the moisture sorption properties of polyethylene glycol. *Journal of Pharmaceutical Sciences* 2010, 99(1):154-168.

Biographies:

Natalia Lopez-Barbosa is an undergraduate Electronic and Biomedical Engineering student at Universidad de los Andes, Bogota, Colombia. She has been associated to the microelectronics research center (CMUA) at the same university as a state-of-the-art researcher of the biomicrosystems project since 2014. In 2012, she participated in the development of a prototype of an exoskeleton for paraplegic patients with an injury of maximum T-12 for the recovery of a standing position. Her interests include biomicroelectromechanical systems, chemical sensors, lab-on-a-chip applications and neural engineering, among others.



Nicolas Zuluaga received the B.S and M.S degrees in Electronic Engineering from the Universidad de los Andes at Bogota, Colombia in 2014 and 2015, respectively. He has been associated to the microelectronics research center (CMUA) at the same university as a development of equipment and technology researcher of the biomicrosystems project since 2011. He has been involved in the development of a dark chamber for a spectrometry device, a low-cost electrospray, a device for sealing microfluidic systems chips and a photolithographic 3D printer with a resolution of 3 cubic micrometers. In 2013, he participated in the Lunabotics Mining Competition at NASA as part of the team Robocol and achieved a 4th place with their excavation robot. His interests include 3D printing, microelectromechanical systems (MEMS), internet of things and embedded systems development, among others.



Santiago Jumah received the B.S and M.S degrees in Electronic Engineering from the Universidad de los Andes at Bogota, Colombia in 2014 and 2015, respectively. He has been associated to the microelectronics research center (CMUA) at the same university as a development of equipment and technology researcher of the biomicrosystems project since 2011. He has been involved in the development of a dark chamber for a spectrometry device, a low-cost electrospray, a device for sealing microfluidic systems chips and a photolithographic 3D printer with a resolution of 3 cubic micrometers. In 2012, he contributed

in the development of the software and hardware of the embedded system CondorBoard at the Universidad de los Andes. His interests include microsystems, remote equipment, internet of things and software development, among others.



Dr. Johann F. Osma is an Electronic Engineering with M.Sc. in microelectronics from Universidad de los Andes (Colombia). He started his research career at the microelectronics research center - CMUA- of the same university in 2001 under the field of micro and nanotechnologies. Later, he continued his academic formation with a M.Sc. and Ph.D. in Chemical and Environmental Engineering at Universitat Rovira i Virgili (Spain) in the field of bio-nanotechnology. Since 2010 he joined the University of los Andes as faculty staff, where he started the research filed on biosensors and microfluidic systems and manages a clean-room specialized on those topics.

PROJETO INTERDISCIPLINAR: MODELAGEM MATEMÁTICA DA SUPERFÍCIE DE UM FUSÍVEL DIAZED

Julio Acordi Dorigon, Leandro Nunes de Almeida, Matheus Rahn Krause
Mirian Bernadete Bertoldi Oberziner, Ana Paula Bertoldi Oberziner¹

Este artigo relata o desenvolvimento do projeto interdisciplinar dos Cursos de Engenharia do Centro Universitário – Católica de Santa Catarina em Jaraguá do Sul. Neste estiveram envolvidas as disciplinas de Cálculo Diferencial e Integral II, Álgebra Linear e Geometria Analítica II. O tema do trabalho é um objeto que tenha a característica de um sólido de revolução, onde o mesmo deve estar relacionado a sua respectiva Engenharia. A partir deste sólido foram definidos os segmentos de cônicas provindos do corte transversal longitudinal encontrado. Posteriormente foram realizados os cálculos da área e volume através de integrais definidas.

Palavras chave: Projeto Interdisciplinar; sólido de revolução; fusível *Diazed*; cônicas; integrais.

This article reports the development of the interdisciplinary project of the University Center Engineering courses – Católica de Santa Catarina in Jaraguá do Sul. They were involved in the disciplines of Differential and Integral Calculus II, Linear Algebra and Analytic Geometry II. The work's theme is an object that has the characteristic of a solid revolution, where it should be related to their respective Engineering. From this solid were defined segments stemmed conical cross-sectional found. Later calculations of area and volume with defined integral method were performed.

Keywords: Interdisciplinary Project; solid of Revolution; fuse *Diazed*; conics; integrals.

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresentou métodos empregados para definição e modelagem de um sólido de revolução. O tema específico abordado foi o estudo da geometria de um modelo específico de fusível, o *Diazed*, assim escolhido pelo fato de estar relacionado à Engenharia Elétrica. Utilizando-se dos conhecimentos ministrados nas aulas de Cálculo Diferencial e Integral II foram realizados os cálculos de área do corte transversal longitudinal e o volume do sólido. Em Álgebra Linear e Geometria Analítica II os conhecimentos foram necessários para obtenção das equações das cônicas do mesmo, oportunizando a aplicação dos métodos transmitidos para resolução de integrais definidas e definição de cônicas nas respectivas disciplinas.

A escolha do presente objeto deu-se pelo fato de sua forma construtiva apresentar características de um sólido de revolução, em que se puderam adequar às funções solicitadas, sendo essas: reta, parábola, circunferência, elipse e hipérbole, encontradas nos cortes transversais longitudinais, além também do fato de ser um componente que se faz presente em grande parte dos painéis de controle e potência de uma enorme gama de equipamentos que são amplamente utilizados no beneficiamento ou industrialização de produtos ou bens de consumo.

O desenvolvimento dos cálculos teve apoio no decorrer do projeto, de *softwares* computacionais, que executaram a verificação, baseados em modelagem 2d e 3d, que tem utilização constante no ambiente industrial. Sendo apresentado ao final deste, os passos dos cálculos desenvolvidos, resultando na área total do corte da secção transversal longitudinal do

¹ E-mail: anabertoldi@catolicasc.org.br

sólido, bem como o volume do mesmo, parte que foi apresentada no memorial de cálculo. Um banner também foi desenvolvido para sintetização do conteúdo presente neste trabalho, assim podendo ser apresentado ou divulgado de maneira simplificada.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os fusíveis *Diazed* ou “D” (*Diazed* é um dos tipos de fusíveis) são empregados na proteção de curto-circuito ou sobrecarga em instalações residenciais, comerciais e industriais. Quando há o curto-circuito ou a sobrecarga, o elemento fusível funde-se, abrindo o circuito elétrico e assim interrompendo a passagem de corrente elétrica.

Os fusíveis *D* são montados em corpo cerâmico e preenchidos de areia de quartzo, sendo que em meio a areia está o condutor que se funde em caso de curto-circuito ou sobrecarga. Sua montagem leva também a base, o anel de proteção, o parafuso de ajuste, e a tampa conforme figura 1. A base serve para fixação em trilho específico ou através de parafusos. O anel de proteção e a tampa tem a função de proteção do operador.

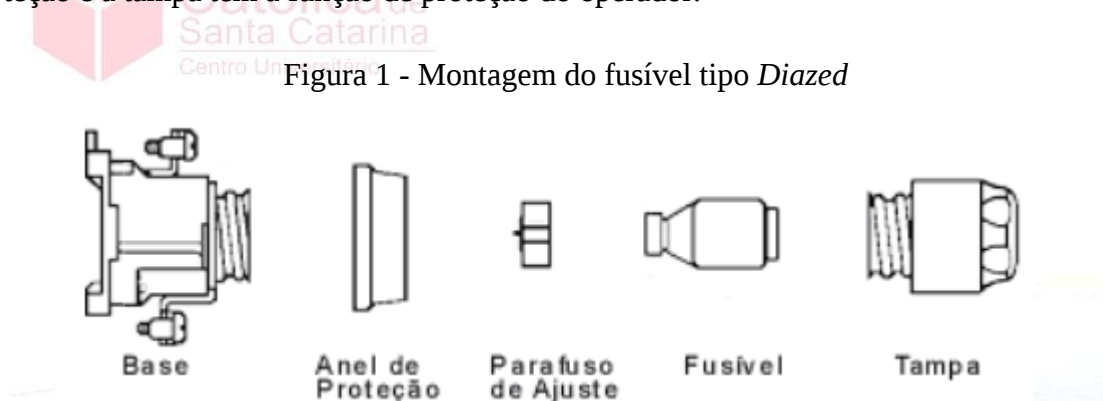


Figura 1 - Montagem do fusível tipo *Diazed*

Fonte: WEG, 2015

Os fusíveis são dispositivos mais baratos que os disjuntores (considerando mesmos valores de dimensionamento), porém em caso de sobrecarga ou curto-circuito o elemento fusível, não o conjunto, devem ser trocados. Pois o condutor interno deste foi rompido, desta forma não passará mais corrente elétrica pelo mesmo. Para evitar possíveis falhas do circuito e desarmes desnecessários, o dispositivo de proteção deve ser dimensionado corretamente de acordo com a corrente e a tensão utilizadas no sistema. Conforme PETRUZELLA (2014, p. 300):

Os fusíveis e disjuntores são especificados para corrente e tensão. A corrente nominal do fusível ou do disjuntor representa a máxima corrente que o dispositivo conduzirá sem fundir ou desarmar e abrir o circuito. A corrente nominal de um fusível ou disjuntor normalmente não deve exceder a capacidade de condução do circuito.

Seguindo a correta recomendação do fabricante e obedecendo as normas de segurança e instalação o elemento de proteção funcionará conforme especificado protegendo não somente o circuito, mas também os operadores do mesmo.

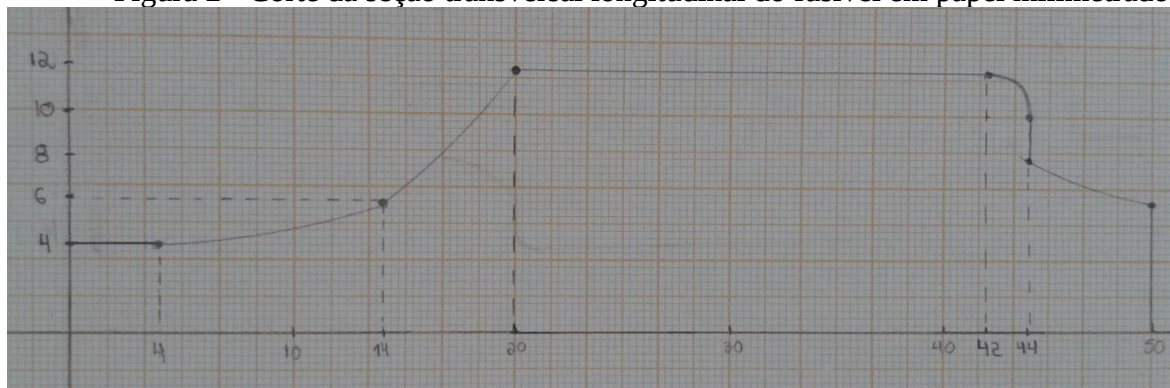
3 METODOLOGIA

O projeto é iniciado com a escolha de um sólido de revolução que tivesse relação direta com o curso dos acadêmicos do projeto, neste caso, Engenharia Elétrica.

3.1 DEFINIÇÃO DO SÓLIDO DE REVOLUÇÃO

A opção foi realizada, pensando-se em um dos componentes que foi e ainda é amplamente utilizado no setor elétrico, o fusível. Sendo definido o tipo de fusível, *Diazed*, buscou-se um catálogo de fornecedor, que informasse as diretrizes geométricas para a criação dos primeiros esboços da peça. As dimensões são representadas em escala 1:1 na figura 2. Então foi possível definir qual dos segmentos formaria tal cônica, e consequentemente a demarcação do esboço, de maneira manual, no papel milimetrado.

Figura 2 - Corte da seção transversal longitudinal do fusível em papel milimetrado



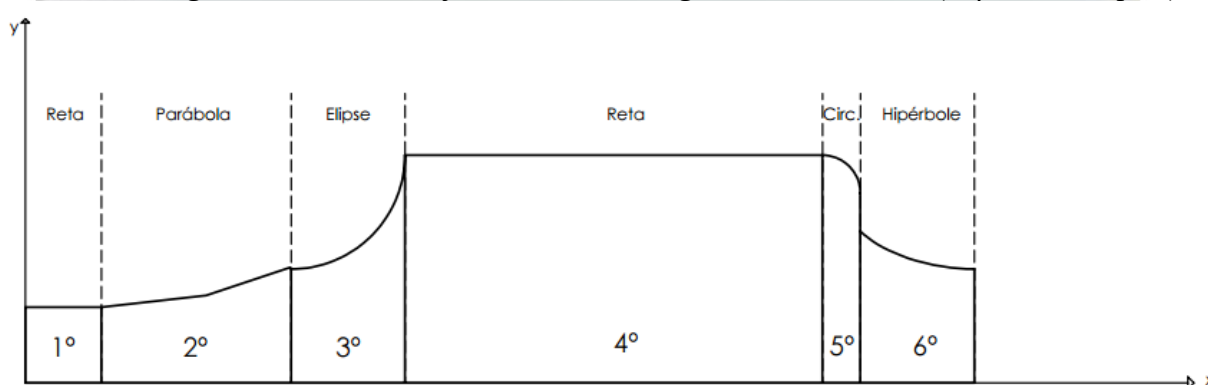
Fonte: Autores, 2015.

3.2 GRÁFICOS DO FUSÍVEL

Com a definição dos segmentos, e obtenção das funções, contamos com um apoio do *software* computacional *Winplot*, para avaliar a veracidade do que havia sido desenvolvido. O uso deste programa nos gerou o gráfico que pode ser visualizado na figura 3, mostrando as definições dos segmentos das cônicas, representados pelos limitantes anteriormente definidos.

O primeiro segmento é representado por uma reta, o segundo uma parábola, o terceiro uma elipse, a quarta, também uma reta. Já o quinto e o sexto segmento são representados por uma circunferência e uma hipérbole respectivamente.

Figura 3 - Corte da seção transversal longitudinal do fusível (*Software Winplot*)



Fonte: Autores, 2015.

Com a concordância dos resultados citados, desenvolveram-se os cálculos de área de cada um dos seis segmentos através de suas respectivas funções, demonstradas na tabela 1, assim também foi realizado com volume, logo em sequência.

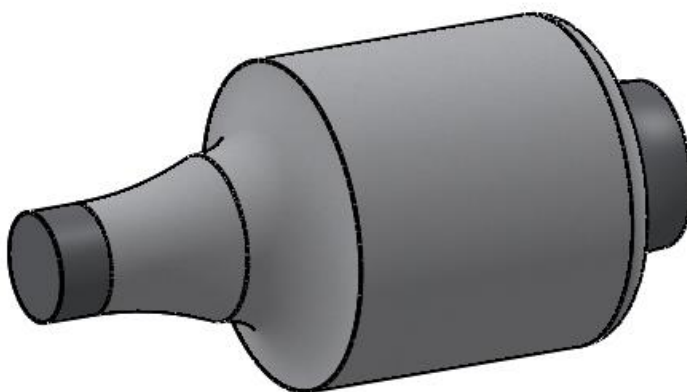
Tabela 1 - Funções

Segmento	Função
1° Reta	$f(x) = 4$
2° Parábola	$f(x) = \frac{(x-4)^2}{50} + 4$
3° Elipse	$f(x) = -\sqrt{36 - (x-14)^2} + 12$
4° Reta	$f(x) = 12$
5° Circunferência	$f(x) = +\sqrt{4 - (x-42)^2} + 10$
6° Hipérbole	$f(x) = \sqrt{36 + \frac{7 \cdot (x-50)^2}{9}}$

Fonte: Autores, 2015.

Com os resultados em mãos, pôde-se verificar a conformidade dos valores, com o auxílio do site *WolframAlpha*, em que cada segmento teve o mesmo resultado obtido manualmente, que pode ser verificado no memorial de cálculo do presente artigo.

Assim, foi desenvolvido o sólido rotacionado com o programa *SolidWorks*, amplamente utilizado nas áreas de modelagem e criação 3d. O sólido final pode ser visualizado na representação isométrica da figura 4.

Figura 4 – Representação isométrica do manipulô (Software *SolidWorks*)

Fonte: Autores, 2015.

Como o *software* tem diversas aplicações, o mesmo retornou também os mesmos valores que haviam sido obtidos com os dois métodos aplicados anteriormente citados.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Depois de encontradas as equações foram necessárias transformá-las em funções. Os cálculos foram realizados através do conhecimento sobre a aplicação de integrais definidas. A área é calculada apenas pela integral, sendo inseridos seus respectivos limitantes, já o volume foi calculado pela função elevada ao quadrado multiplicada por pi (π), também sendo inseridos seus respectivos limitantes. Haja vista que alguns segmentos tiveram seus volumes calculados com o auxílio da substituição trigonométrica. O sólido foi dividido em seis segmentos, e foi obtido através da rotação das funções em torno do eixo das abscissas. Segue a tabela 2 com os segmentos e suas respectivas funções, áreas e volumes.

Tabela 2 - Resultados obtidos

Segmento	Função	Área do corte transversal	Volume
1° Reta	$f(x) = 4$	16 mm^2	$201,06 \text{ mm}^3$
2° Parábola	$f(x) = \frac{(x-4)^2}{50} + 4$	$46,66 \text{ mm}^2$	$695,34 \text{ mm}^3$
3° Elipse	$f(x) = -\sqrt{36 - (x-14)^2} + 12$	$43,726 \text{ mm}^2$	$1034,9 \text{ mm}^3$
4° Reta	$f(x) = 12$	264 mm^2	$9952,56 \text{ mm}^3$
5° Circ.	$f(x) = +\sqrt{4 - (x-42)^2} + 10$	$23,14 \text{ mm}^2$	$842,46 \text{ mm}^3$
6° Hipérbole	$f(x) = \sqrt{36 + \frac{7 \cdot (x-50)^2}{9}}$	$40,22 \text{ mm}^2$	$854,51 \text{ mm}^3$
Total		$433,75 \text{ mm}^2$	$13580,83 \text{ mm}^3$

Fonte: Autores, 2015.

Os resultados mostram que a área do corte transversal é igual a $433,75 \text{ mm}^2$, sendo assim a área total do corte transversal longitudinal do sólido é igual ao dobro deste valor, ou seja, $867,5 \text{ mm}^2$, pois o valor encontrado representa apenas a parte positiva em relação ao eixo x. Já o volume resultou em $13580,83 \text{ mm}^3$. Os valores encontrados foram comparados com os valores dos *softwares* especificados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho buscou desenvolver uma série de conhecimentos e experiências para os acadêmicos que o realizam. Assim como prepará-los para um futuro mercado de trabalho repleto de obstáculos a serem superados. Os assuntos tratados fazem parte do campo de atuação

de um engenheiro eletricista e esses conhecimentos adquiridos serão de grande importância na evolução do raciocínio lógico na solução de problemas.

O profissional graduado em engenharia encontra inúmeras situações onde ele deve atuar utilizando análises e cálculos para aperfeiçoar seu rendimento na criação, produção e modificação de certos materiais e/ou componentes. No caso do fusível *Diazed*, principalmente o engenheiro eletricista, observa como ele age dentro de um sistema. Para que assim, através dos meios citados, ele consiga otimizar a função determinada para esse tipo de fusível.

Avançadas as etapas propostas para o trabalho: determinação do objeto, equações, cálculos de área e volume, desenvolvimento nos softwares e com a finalização do artigo os acadêmicos puderam aprimorar as habilidades relacionadas a soluções de problemas propostos através do trabalho em equipe e utilização dos conhecimentos adquiridos.

6 REFERÊNCIAS

Fusível modelo D. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Controls/Protecao-de-Circuitos-Eletricos/Fusiveis-D-e-NH-aR-e-gL-gG>>
Acesso em: 28/10/2015

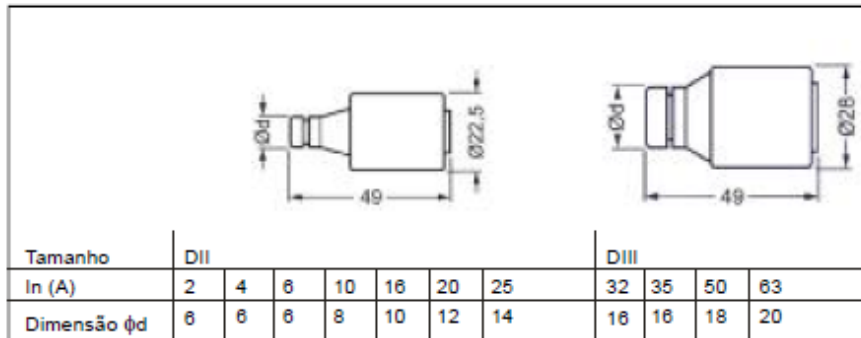
Grupo WEG – Unidade Automação. **Fusíveis aR e gL/gG tipo NH Contato Faca, NH Flush End e Diametral.** 67 ed. Jaraguá do Sul: WEG, 2015.

PETRUZELLA, Frank D. **Eletrotécnica I.** 1 ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

STEWART, James. **Cálculo.** 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010-2012.

STEINBRUCH, Alfredo; WINTERLE, Paulo. **Álgebra linear.** 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1987-2014. 583 p. ISBN 0074504126.

ANEXO A – DIMENSIONAL DO FUSÍVEL UTILIZADO

Dimensionais (em mm)

* Para mais informações, favor consultar www.siemens.com.br/fusiveis

**SOBRE OS AUTORES:**

Julio Acordi Dorigon, Leandro Nunes de Almeida, Matheus Rahn Krause são acadêmicos do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Católica de Santa Catarina em Jaraguá do Sul

Ana Paula Bertoldi Oberziner e Mirian Bernadete Bertoldi Oberziner são professoras de Cálculo, Geometria Analítica e Álgebra Linear dos cursos de Engenharia do Centro Universitário Católica de Santa Catarina em Jaraguá do Sul.

Novos Saberes, v. 2, n. 2 (2015)



ISSN: 2359-1986

Novos Saberes, v. 2, n. 2 (2015)