



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

RESTRICTED

18726

DP/ID/SER.A/1416
21 November 1990
ORIGINAL: ENGLISH/PORTUGUESE

SUPPORT TO SENIA-CETIQ APPLIED RESEARCH UNIT

DP/BRA/87/033/11-10/B

BRAZIL

Technical report: Treatment of textile effluents in Brazil*

Prepared for the Government of Brazil
by the United Nations Industrial Development Organization,
acting as executing agency for the United Nations Development Programme

Based on the work of John J. Porter,
expert in textile effluent treatment

Backstopping officer: J. P. Moll,
Agro-based Industries Branch

United Nations Industrial Development Organization
Vienna

* This document has not been edited.

V.90 89723

EXPLANATORY NOTES

Currency Exchange Rate

During the period of consultation, from July 28, 1990 to September 9, 1990 the average rate of exchange was 81.5 Cruzados for 1 U.S. Dollar. This rate of exchange changed less than 2% for this period.

Definition of Acronyms and Terms

CETIQT - Centro de Tecnologia da Indústrias Químicas e Têxtil

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

ABSTRACT

The consultant, John J. Porter, served as an Expert in Textile Effluent Treatment (DP/BRA/87/033/11-10/J 13103) to the Centre of Technology of the Chemical and Textile Industry (CETIQT) during the period 7/90 to 9/90. The wastewater laboratory, at CETIQT was evaluated and recommendations made for improving its operation and service to the textile industry. Several visits were made to industries in the states of Minas Gerais, Santa Caterina and Sao Paulo and a written report of each visit is included giving recommendations for improving the treatment or reducing the volume of wastewater discharged. Written material used for the presentation of seminars during the consultation period is included at the end of this report. It will be very important for CETIQT to develop first hand information on wastewater analyses and biological and physical/chemical treatment methods being used in Brazil so that it can advise industry and government on the proper selection of waste treatment systems. The limited availability of current wastewater treatment information in Brazil necessitates that CETIQT develops a wastewater laboratory to serve the textile industry.

	Page
EXPLANATORY NOTES	2
ABSTRACT	3
INTRODUCTION	6
Objectives	6
ACTIVITIES	8
RECOMMENDATIONS	9
To SENAI-CETIQT	9
To the Textile Industry	10
To Governmental Agencies	10

LIST OF ANNEXES

ANNEX	PAGE
ANNEX 1	
Job Description	12
ANNEX 2	
Textile Companies Visited	15
A. Barbacena, Minas Gerais	15
B. Joinville, Santa Catarina	15
C. Jaragua do Sul, Santa Catarina	16
D. Sao Paulo, Sao Paulo	16
ANNEX 3	
A. Governmental Agencies Visited	17
B. Engineering Laboratories Visited	17
ANNEX 4	
Seminars Presented During Consultation Period	19
ANNEX 5	
Details of Plant Visits	20
A. Barbacena, Minas Gerais	20
B. Joinville, Santa Catarina	22
C. Jaragua do Sul, Santa Catarina	27
D. Sao Paulo, Sao Paulo	29
ANNEX 6	
Papers Prepared for Consultation Period	34
Elimination of Wastewater by Automation, Recycle and Reuse	35
Textile Dyeing and Finishing Processes and Wastewater Treatment Methods	61

INTRODUCTION

The Brazilian textile industry has developed significantly in recent years and is presently undergoing modernization because of the decrease in import restrictions. While modernization has improved the operating condition of the industry the government is enforcing relatively new regulations controlling textile wastewater treatment and discharge. Because of the need to rapidly develop practical and economical methods of treating textile wastewater SINAI-CETIQT sought the help of UNIDO to retain a special consultant to assist the textile industry during the months of August and September, 1990. The consultant (John J. Porter, see ANNEX 1) was selected and agreed to visit small, medium and large dyehouses in the country and survey the technical level of wastewater treatment being used and make recommendations to the dyehouses on methods they could use, or install to improve their wastewater treatment systems. The consultant also visited the new wastewater laboratory being installed at CETIQT and made recommendations to improve the operations of the laboratory so it could best benefit the Brazilian Textile Industry.

During the period of visitation the consultant gave seminars at CETIQT and at other selected locations on the state-of-the-art in textile effluent treatment and recommended action the textile industry should take to decrease industrial water pollution. The recommendations are given in this report in the following sections. The consultant will be available to assist the staff and laboratory at CETIQT for the next 2 1/2 years in the field of textile effluent treatment upon the request and support of UNIDO. The consultant would also assist staff personnel at CETIQT with the development of training programs in the U.S. and arranging visitations to textile wastewater treatment treatment facilities.

Objectives

1. Assist and instruct CETIQT on textile wastewater treatment methods, recycling techniques and reuse possibilities.

2. Visit Brazilian textile companies and make recommendations for wastewater treatment and reduction.
3. Visit governmental agencies responsible for the regulations for wastewater treatment and obtain current information on textile wastewater treatment practices.
4. Visit engineering laboratories involved with the development of plans and specifications for textile wastewater treatment and obtain information on current practices.
5. Give specific seminars or formal presentations during the consultation period to provide technical information on textile wastewater treatment.

ACTIVITIES

The consultant arrived in Rio de Janeiro, Brazil as scheduled on July 29, 1990 and spent the first two weeks at CETIQT inspecting the laboratory, exchanging information with Deyse de Carmo and preparing information in Portuguese that would be suitable for distribution at the planned meetings and seminars. The new laboratory for wastewater analysis and treatment evaluation was almost completed and appeared to be very adequate and modern.

The schedule for plant visits was completed and a listing of plants visited is included in Annex 2. Additional visits were arranged with governmental agencies involved with wastewater discharge regulations and engineering laboratories involved with waste treatment plant design and these are shown in Annex 3.

During the consultation period several seminars were given and a listing of these with titles are given in Annex 4.

The final four weeks of the consultation period were involved with visits to textile plants in the states of Minin Gérias, Sao Paulo and Santa Catarina and preparation of reports describing each plant and making recommendations for wastewater treatment and recycling. These reports are given in Annex 5.

Two papers were prepared for use during the consultation period and these are given in Annex 6.

RECOMMENDATIONS

To SENAI - CETIQT

1. An excellent wastewater laboratory is almost completed at CETIQT. CETIQT should develop laboratory skills for several analyses useful for characterizing textile wastewater and develop proficiency in these analyses. For example: COD, BOD, total solids, suspended solids, pH, total nitrogen, phosphate, and selected metals such as chromium, copper, zinc, cadmium and lead would be very useful for characterizing textile wastewater and designing appropriate treatment systems.
2. Laboratory treatability studies should be conducted at CETIQT with specific textile dyeing and finishing wastestreams so that first hand information is obtained on current wastewater characteristics and treatment techniques. This would involve aerobic biological treatment, physical/chemical treatment and anaerobic treatment as these are treatment methods which are being used in Brazil.
3. CETIQT should extend its work on the use of membrane processes available to Brazil or those that will become available for recycling dyes (indigo), PVA size, caustic soda and bleaching wastewater.
4. CETIQT would benefit from the extension of the work identified in 1, 2 and 3 above under the direction of the consultant and coordinated with Paulo Justo of CETIQT. It would be most helpful if Paulo Justo and Deyse de Carmo could participate in a training program in the U.S. and visit organizations and companies involved with textile wastewater treatment. This could be developed by CETIQT and the consultant and submitted to UNIDO for support consideration.
5. It would be very helpful to provide specific course and laboratory instructions at the university level for Deyse de Carmo (laboratory analyst) in analytical chemistry and organic chemistry. The diversity of the analytical methods required for wastewater analyses and complexity of organic chemicals used by the textile industry make an understanding of

these subjects extremely valuable to persons working on wastewater treatment and analyses.

6. - CETIQT should develop information for process automation using microcomputers. This could be initiated with commercial vendors which are developing in Brazil such as Texas Instruments of Sao Paulo which is developing process control information and will supply instrumentation to the textile industry in the near future.

To the Textile Industry

The textile industry must obtain valid, current treatment information on its wastestream before designing a treatment system for treating its wastewater. If this is not done an expensive treatment system will be installed, as has been done, that will not effectively treat the wastewater and will have to be replaced when regulatory inspection becomes operative. Specific information on existing systems is given in Annex 5.

To Governmental Agencies Regulating Wastewater Treatment

The regulatory agency must require that industry submit monthly reports which monitor the characteristics of wastewater being discharged to the environment. These reports would identify the treatment quality being obtained and provide information on the types of treatment used in Brazil. The agency could use this information to require that effective treatment systems be used for new locations, modified, or modification be made to existing waste treatment systems to improve their treatment.

The government should develop wastewater treatment systems to treat industrial and domestic wastewater together. Most domestic industrial wastewater can be treated jointly as is done in the U.S. When problems occur with specific industrial pollutants pretreatment systems can be installed by the industry. By treating the wastewater jointly the industry can pay for a major portion of the cost of the wastewater treatment system for the city. Since Brazil has a small number of wastewater treatment systems in place this would provide the capital needed to construct many

waste treatment facilities to serve the cities. The joint treatment system could be constructed outside of the city where space is available and less expensive biological treatment systems can be used. When space is very limited, treatment cost escalates rapidly.

ANNEX 1

JOB DESCRIPTION

DP/BRA/87/033/11-10/C/J.1.1.01

Post title: Expert in textile effluent treatment

Duration: 1.5 man-months

Date required: August/September 1990

Duty station: Rio de Janeiro with travel within the country

Purpose of project: The strengthening of the Centre of Technology of the Chemical and Textile Industry (CETIQT)

Duties: The consultant will:

-visit a number of selected small, medium and large dyehouses and survey the technical level of waste water treatment;

-co-operate with the Chief Technical Adviser (CTA) in the preparation of the detailed work-plan in his special field.

-give seminar/courses* at CETIQT and at selected other locations on the state-of-the-art in textile effluent treatment, what is to be expected, what can and what should be done in the Brazilian textile industry;

-in co-operation with CETIQT management review the applied research programme for the next 2 1/2 years in the field of textile effluent treatment;

-make technical recommendations for actions to be taken by industry, and - if and where necessary - for legal actions to be taken by the Government in order to reduce the pollution of the environment.

-The expert will also be expected to prepare a technical report setting out the findings of the mission and recommendations to the Government on further action which might be taken.

Qualifications:

Chemist (chemical engineer) or industrial biologist with at least 5 years industrial research experience in the analysis and treatment of wastewater generated in textile preparation (scouring, bleaching, mercerising) dyeing and finishing.

**Background
Information:**

The Centre of Technology of the Chemical and Textile Industry (CETIQT) is a unit of the Servico Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) system, exclusively devoted to assist the Textile and Confection Industry regarding education at 1st, 2nd and 3rd grades in technological research, technical assistance and dissemination of technological information.

In order to keep pace with the significant technological developments in the textile industry and taking into account the importance of the textile industry for the international trade balance CETIQT is steadily updating its curriculum. External assistance is being sought for providing the basis for specialized courses for textile technologists as well as for advice on the research programmes in specific areas.

Advisory services would be provided through lectures on advanced process control in dyeing and finishing; on changes in characteristics of materials during mechanical and chemical finishing techniques; on cotton spinning,

**weaving and knitting technology and by providing expertise
in garment design and pattern and grading technology.**

ANNEX 2

Textile Companies Visited During The Consultation Period

Specific details of visitation, plant production, wastewater treatment and recommendations are given in ANNEX 5.

A. Barbacena, Minas GeraisFiacao e Tecelagem Sao Jose' S.A.

Av. Floriano Peixoto, 359

Barbacena, M.G., Brazil

Contact: Vandir Meller

B. Joinville, Santa CatarinaLepper - Companhia Fabril Lepper

Rua Otto E. Lepper, #1

CEP 89200, Joinville, S.C., Brazil

Contact: Nilo Knop

Dohler S.A.

Rua Arno W. Hohler, 145

89200 Joinville, S.C., Brazil

Contact: Jose Mario G. Ribeiro.

Campea. S.A.

Rua Sao Paulo, 305

89200 Joinville, S.C., Brazil

Contact: Elias Auras

C. Jaragua do Sul, Santa Catarina**Marisol S.A.**

Rua Beranardo Dornbusch, C.P. D-7

89250, Jaragua do Sul, S.C., Brazil.

Contact: Gunther Boss.

D. Sao Paulo, Sao Paulo**Lavanderia Ideal LTDA**

Rua Pedroso 202/238

Liberdade, Sao Paulo, S.P., Brazil.

Contact: Antonio S.G. Burattini.

Malharia Nossa Senhora da Conceicao S.A.

Rua Variante Getulio Dornelles Vargas, 2156

Jacarei, S.P., Brazil

Contact: Adalberto Lovato.

Sao Paulo Alpargatas S.A.

Rodovia SP-127, km 118

Tatui, S.P., Brazil.

Contact: Altino Fortuna.

Industria de Meias Scalina Ltda.

Av. Papa Joao Paulo I, 5235

Guarulhos, S.P., Brazil.

Contact: Ronaldo D. Heilberg.

ANNEX 3

A. Governmental Agencies Visited

1. **Fundacao Est. de Engenharia Meio Ambiente - FEEMA.**
Departamento de Controle Ambiental :
Rua Fonseca Teles #121/1421, CEP 20940 R.J., R.J., Brazil
Contact: Isaura Maria de Rezende Frondiei
Tele: 254-1766

Discussed activities of the department with respect to industrial wastewater treatment.

2. **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB.**
345, CEP 05459, Sao Paulo,S.P., Brazil.
Contact: Sonia M. M. Vieira.

Discussed industrial and municipal waste treatment in Brazil and the development work on anaerobic treatment at CETESB.

B. Engineering Laboratories Visited

Engineering laboratories involved with industrial wastewater treatment plant design and operation.

1. Hidroquimica Engenharia e Laboratorios Ltda
Rua Santa Alexandrina, 535 - Rio Comprido 20261
Rio de Janeiro, R.J., Brazil.

Visited laboratory and discussed treatment system currently being designed to treat textile wastewater. The firm had offices in other cities in Brazil.

2. Miningtech, Inc.
Rua Andronico dos Prazeres Goncalves

114, CEP 06800, Embu, Sao Paulo, S.P. Brazil.

Contact: Paul A. Woodhead.

Had three meetings with Paul Woodhead to discuss wastewater treatment in Brazil.

ANNEX 4

Seminars

Specific seminars or formal presentations made during the consulting period.

1. Title: "Elimination of Wastewater by Automation, Recycle and Reuse."
Location: SENAI - Centro de Tecnologia da Industria Quimica Textile, CEP 20961, Rio de Janeiro, R.J., Brazil.
Date: August 8, 1990 - 2 PM
2. Title: "Membranes Used By The Textile Industry To Recover Chemicals From Wastestreams"
Location: Universidade Federal do Rio de Janeiro - U.F.R.J. Cidade Universitaria, Centro de Tecnologia, BloooG 21945 Ilha do Fundao, R.J.
Date: August 10, 1990 - 9:30 AM
3. Title:: "Treatment of Textile Effluents"
Location: SENAI - Escola Francisco Matarazzo Rua Muniz de Souza, 3, Cambuci, CEP 01534, Sao Paulo, S.P., Brazil.
Date: August 24, 1990 - 8:00 AM.
4. Title: "Treatment of Textile Effluents"
Location: CETEJE - Centro de Treinamento Textil de Joinville, Rua Arno W. Dohler, 921, CEP 89200, Joinville, Santa Catarina, Brazil
Date: August 30, 1990 - 8:00 AM.
5. Title: "Elimination of Wastewater by Automation, Recycle and Reuse"
Location: XIU-CNTT, Congresso Nacional DeTechicos Textels, Blumcnan, S.C.
Date: September 7, 1990 - 9:00 AM

ANNEX 5

Details of Specific Plant Visits Made During the Consultation Period

A. Barbacena, Minas GeraisFiacao e Tecelagem Sao Jose S.A.

Av. Floriano Peixoto, 359

Barbacena, M.G., Brazil

Contact: Vandir Meller

The plant employs 1200 people and produces 120,000 meters of fabric per day. Many different constructions of fabric are woven, dyed and finished in the plant. The weaving equipment is more or less 30 years old and, the plant is planning to install modern air-jet looms in the next two years to maintain a strong competitive position in the Brazilian and world market.

The dyeing and finishing plant uses equipment and techniques ranging from those developed recently to those developed in the past 20 years. The overall picture of the plant appears strong today and plans are being made to improve the production efficiency and modernize process equipment.

In-Plant Recommendation

Caustic recovery from mercerization is a very important need for the plant. Presently, all caustic used is discharged to waste treatment which must be immediately neutralized with sulfuric acid before coagulation or biological treatment can be performed. It has been estimated a caustic evaporator should pay for itself within six months to one year of operation. When the savings from the elimination of sulfuric acid are also added to the value of the caustic recovered from the evaporator the pay-backs time is cut almost in half. This would make the evaporator a very valuable piece of equipment and important to the profit of operation.

Waste-Treatment Recommendations

1. The most expensive cost of waste treatment is the purchase of sulfuric acid for neutralization of mercerization caustic wastewater. This could be almost eliminated if an evaporator is installed.
2. The waste treatment plant uses coagulation followed by air floatation to remove suspended solids and some dyes from the effluent. The plant has been in operation for 3 years (1987) and the operators have become familiar with the quantities of alum and polymer needed for the optimum coagulation conditions. Presently, 700 ppm of alum and 90 ppm of polymer are used to provide the best de-watering sludge. These are high chemical concentrations but not surprising for the treatment of a textile waste containing many dispersants. The chemical requirements are not expected to change and the quantity of sludge generated is large and will present a disposal problem in the future.
3. I recommend that Sao Jose conduct a biological treatability study in cooperation with SENAI, Rio to evaluate the removal of BOD, COD and color from the wastestream before any coagulation is conducted on the wastestream. This would determine if better treatment could be obtained with the use of much less alum after biological treatment. It is expected that much less alum would be required after biological treatment and therefore much less sludge would have to be shipped to land fill.

The study would initially be conducted with a 5 day retention time in the aeration tank until stable treatment was obtained (@ app. 25 days). The retention time could then be slowly reduced to 2 days to determine the limiting treatment efficiency similar to the conditions available at the plant presently.

When the study is stabilized a sample of the effluent could be evaluated for coagulation in direct comparison to a raw waste sample to determine if efficiency or alum requirement is significantly improved. The results would be used to consider installing biological treatment before the present treatment plant.

4. Sao Jose is planning to construct a new building for the new looms it is going to purchase. It is also planning to expand its operation significantly over the next 5 years. As the waste water treatment cost are very expensive because of the small space available, I recommend that Sao Jose consider relocating its plant near the river outside the city where it could expand with more space and build a less expensive wastewater treatment plant. Construction cost may be less and future expansion much less limited.

B. Joinville, Santa Catarina

1. Companhia Fabril Lepper

Rua Otto E. Lepper, #1

CEP 89200, Joinville, S.C., Brazil

Contact: Nilo Knop

The plant visited employes 750 people and produces 7,700 kilograms of knitted fabric per day. and uses different machines to form a variety of table cloths, towels and bed spreads. The fabrics are made from yarns containing 100% to 67% cotton fiber with polyester fiber used for the blended yarns.

Over 95% of the production is white fabric which is screen or roller printed so that less than 5% of the wastewater contains any dye from the process. Since no woven fabric is process the wastewater also contains no sizing waste and therefore has a lower BOD (100 - 300 ppm) than most finishing plants in Brazil.

In-Plant Recommendations

One of the best opportunities that Lepper has to reduce water, steam and waste treatment cost is to reuse the water from the scouring and bleaching operation. The plant uses large beam dyeing machines to scour, bleach and neutralize the fabric after the bleaching operation. It should be possible to reuse the water from the last neutralization step in any of the other process steps. The water is clean and has a pH of 7. All that would be

necessary would be to install a tank to hold the water and pump it to the next machine which is ready for the bleaching operation. The water from the bleaching operation could also be used for scouring or the initial washing operation in the same manner. This recycle procedure was recommended to the plant and they plan to evaluate this procedure in their laboratory.

Waste-Treatment System

The waste treatment system operated by the plant uses air-floatation to remove mostly insoluble impurities from the wastewater. The wastewater which has a pH of 9-14, first passes into an 8 hours equilization tank which is well-mixed by air introduced at the bottom of the tank. The pH is adjusted to 6-7 by introducing sulfuric acid into the equilization tank. After this aluminium sulfate is added to the waste and it enters an air pressure tank to dissolve air for the floatation process. The floated sludge is then mechanically decanted on to a metal drain where it is fed into sludge drying beds. After drying the sludge is then shoveled into drums for shipping to a landfill.

The system works well for air floatation but this type of system is generally only able to remove 40-60% of the BOD. The plant did have limited data that indicated a removal of over 80%. If necessary the plant plans to build an additional aeration tank followed by another tank using Agua-Pe plants to remove BOD. The system was installed because of the limited space available for construction of a wastewater treatment facility.

Waste Treatment Recommendations

The plant should investigate the use of biological treatment for treating its wastewater as this should be less costly than the physical chemical system currently in use.

2. Dohler S.A.

Rua Arno W. Hohler, 145
89200 Joinville, S.C., Brazil
Contact: Jose Mario G. Ribeiro.

The finishing plant in Joinville employes 2000 people and produces 7,800 m²/hr of fabric and discharges 150 m³/hr of wastewater. The principal products are towels, sport fabrics, and curtains, however, many different items are finished in the plant. The fabrics are constructed of mostly cotton fiber (85%) but some viscose (12%) and polyester (3%) fibers are used.

The plants desizes, scours, bleaches, and caustic treats approximately 85% of the fabrics processed. The size removed is starch and the bleach used is hydrogen peroxide. Most of the dyeing is done with pigment dye (90%) with the remaining 10% dyed with sulfur and reactive dyes.

At present the plant does not recover the caustic used to improve dyeing and moisture adsorption but is considering recovering the caustic to decrease operating cost and reduce wastewater neutralization cost.

The waste treatment system used by the plant utilizes alum coagulation followed by dissolved air-floatation to treat its wastewater. The system was installed in 1988 and became fully operational in 1989. It is hard to determine the efficiency of the treatment system as is the case with all industrial waste treatment in Brazil as almost no data is collected.

In-Plant Recommendations

The plant needs to seriously consider caustic recovery. The caustic is expensive and one millions kilograms per month are consumed. This represents a cost of 0.5 to 1.0 million dollars per month and requires a significant quantity of sulfuric acid for neutralization for waste treatment. The acid cost is reduced by neutralizing the waste caustic solution with the boiler stack gases. This could still be done if a caustic recovery system was installed as a fraction of the caustic is too dilute (2%) for evaporation recovery.

The plant could recycle some of the bleaching wastewater used for scouring and reduce operating cost but to be practical a careful laboratory evaluation should first be conducted. The processes should be isolated so that the jig machines used for bleaching are separate from those used for sulfur dyeing. There appears to be no problem with this and a careful selection of equipment would avoid recycle contamination.

Waste Treatment Recommendations

The system is similar to others used by textile finishing plants. The wastewater is equalized in a tank with a surface aerator used for mixing. The retention time is 8 hours and the neutralizing acid added by hand. An automatic feed system would control the process much better and prevent wide swings in wastewater acid and base concentrations.

The plant indicated that the raw waste had a BOD of 1,800 ppm before treatment and this was reduce to 700 ppm by the treatment system. This is very high for the raw waste so more analytical data is needed to confirm these figures. It is believed that approximately 40 to 60% of the BOD could be removed by the treatment system.

If possible it would be better to treat the waste by biological treatment before coagulation. The biological process should reduce surfactants and produced a more stable suspended solids, more treatable by a lower concentration of coagulant than presently used.

3. Campea S.A.

Rua Sao Paulo, 305

89200 Joinville, SC

Conatac: Elias Auras

The Campea plant we visited in Joinville employes 105 people in the finishing and sewing operation. The yarns and fabrics processed are composed of some fiber for 95% of the items produced with the remaining 5% composed of a mixed or blended yarn. The plant dyes fabrics and yarns

with several classes of dyes with reactive dyes representing a major fraction of the production. The plant operates 24 hours a day for 6 days a week and has been in operation for 50 years currently processing over 2,000 kg of goods per days. The water used for dyeing and finishing amounts to 20,000 liters per hour with planned expansion to increase to 30,000 liters per hour within the next two years.

The wastewater is treated by equalizing the flow in a 700 cubic meter equalization pond followed by aeration in a 90 cubic meter tank, pH adjustment in a mixed tank with sulfuric acid, then addition of alum in a separate small mixed tank and final clarification in a 90 cubic meter tank where sludge is removed and the clarified liquor flows to small stream (approx. 120 cubic meters per hour). The stream is impounded to provide a pond for final polishing of the wastewater before it flows to the discharge point. The treatment system appeared to be working very well on the day the plant was visited, however, the very limited analytical data available prevented evaluation of the treatment efficiency.

In-plant Recommendations

The mix of processes and colors used did not favor extensive recycling. It was discussed and a recommendation was made to consider reusing the final cold wash water from yarn preparation for the first step in the preparation process. This, however, represented a small fraction of the process water.

The plant was planning to install a recovery tank for steam condensate from process heat exchangers at the next shut down period.

Waste Treatment Recommendations

The waste treatment system appeared to be working very well the day the plant was visited. It was not possible to determine treatment efficiency because analytical data was not available but the effluent quality looked very good. The plant had an equalization pond that gave approximately 1.5 days retention followed by aeration and pH adjustment from 9 to 6.5 followed by

alum addition. The sludge was separated by a clarifier and discharge to a polishing pond formed by impounding the receiving stream. Very little foam was formed in the stream and there was no color in the clear water. A recommendation was made to increase the size of the initial equalization pond to 4 times its present volume to 3,000 cubic meters and install 3 or 4 aerators in the pond. Erosion protection could be provided to the sides of the pond with stones and erosion under the aerators prevented by installing concrete pads under the aerators. The biosludge could be separated by the existing clarifier and the sludge returned to the lagoon inlet for further degradation. This would eliminate or drastically reduce the need for alum and sulfuric acid as the biological process would reduce the pH and remove much of the BOD.

It was also recommended that SENAI provide technical assistance with the operation of the new system. SENAI could contact the consultant for additional recommendations. This system could serve as a model for textile wastewater treatment when its operation is optimized after several months of careful study.

C. Jaragua do Sul, Santa Catarina

1. Marisol, S.A.

Rua Beranardo Dornbusch, C.P. D-7

89250, Jaragua do Sul, S.C., Brazil.

Contact: Gunther Boss.

The specific plant visited employs 1,400 people and produces 360,000 kg/month of products which include t-shirts and sports ware from cotton fiber. At present only a small portion of polyester fiber is processed in the plant (approx. 3%), however, this is increasing. The exported products amount to 8% of the present sales and there is a desire to increase this income. The plant works 3 shifts, 5.5 days per week and consumes 120 cubic meters per hour of process water for the dyeing printing and finishing operation.

The present waste treatment system has been in operation for four years and uses ferric chloride, calcium hydroxide and polymers to coagulate the wastewater and removes the sludge by clarification. The sludge is then pumped to a filter press and the sludge cake is transported to a landfill.

In-Plant Recommendations

The principal dyestuffs used by the plant are reactive and pigment dyes. Neither of these could be recovered for recycle so there was at present no obvious opportunity for recovery of dyes and water. There is the possibility of recovering energy from the wastewater with the use of a heat exchanger and this should be investigated.

Waste Treatment Recommendations

The waste treatment system was operating very well the day the plant was visited with the treated wastewater being very clear but still containing some color which had not been removed. Approximately 300 ppm of ferric chloride, and 500 ppm of calcium hydroxide and 4ppm of a nonionic polymer were used to coagulate the waste .

No data was available to determine the efficiency of the treatment operation, however, it is estimated that this type of treatment normally removes 50% of the organic pollutants. It was recommended that the plant obtain information to determine the efficiency of the chemical treatment system in use and also investigate a biological treatment system (3-5 day retention) which could be used before the chemical treatment process. The biological process could be evaluated in the plant laboratory with the assistance of SENAI and the information provided to the plant.

D. Sao Paulo, Sao Paulo

1. Lavanderia Ideal, LTDA

Rua Pedroso 202/238

Liberdade, Sao Paulo, S.P., Brazil.

Contact: Antonio S.G. Burattini.

The plant was located near the center of the city of Sao Paulo and employed approximately 800 people and maintained production for six days a week. Because of the limited space no room was available for a wastewater treatment system of significant size. Most of the production involved the preparation of stone washed jeans for sale in Brazil. Several modifications in the processing equipment were underway the day the plant was visited and these were discussed with the plant engineer to determine what effect they might have on a waste treatment system. The following recommendations were made to the plant.

In-Plant Recommendations

Because of the nature of the heavy fabric used to produce jeans (or denim fabric) and the dark dyes used most of the waste water is fairly strong and not suitable to direct recycle without treatment. However, indigo dye is being recovered from wastewater and recycled in the U.S.A. and the process is profitable. The added benefit is that color is removed from the wastewater. This should be investigated by the plant to determine if enough dye is present in the wastewater to make the process economical. Other specific wastestreams that contain no dye or dyed fiber that could be removed by simple filtration should be analyzed and evaluated in the laboratory for recycle. This work could be evaluated by SENAI.

Waste Treatment Recommendations

The limited space available at the present plant location makes it unlikely that a waste treatment system could operate successfully. Most plants of this type in the U.S.A. discharge to a municipal treatment system and pay a surcharge based on the strength of the wastewater and volume

discharged per day. This procedure would provide income to the city at a reasonable rate for the service provided and avoid the waste of capital by the plant for a process that may have to be abandoned at a later date because of poor operation. This type of waste can be easily treated biologically if the pH is controlled. Any pH adjustment could be made by the plant before the waste is discharged to protect the municipal waste treatment system.

2. Malharia Nossa Senhora da Conceicao S.A.

Rua Variante Getulio Dornelles Vargas, 2156

Jacarei, S.P., Brazil

Contact: Adalberto Lovato.

This plant is located north of Sao Paulo in the town of Jacarei and knits and dyes synthetic fabrics composed of nylon fiber. Most of the production is devoted to hosiery and socks and is performed by 1000 employees working 3 shifts, six days a week. The plant had a biological activated sludge waste treatment system which had been in operation for over 2 years and appeared to be working well even though very little data was available to determine the efficiency of the treatment system.

In-Plant Recommendations

This plant is a very good example of the type of operation that could successfully apply the concept of direct dyebath reuse. That is the storage of the dyebath in a separate tank immediately after the dyeing operation is complete. This would be followed by removal of the dyed yarn and reloading of the dyeing machine with undyed yarn. The stored dyebath would then be return to the dyeing machine, fresh dye and additives would be added and the dyeing procedure completed. This would save hot water, dyeing chemicals and small fraction of the dye normally used. The volume of waste water discharged would be reduced significantly. By using this procedure some textile companies in the U.S.A. have reused dyebaths over 50 times. The process does require careful attention and supervision in the startup phase but offers considerable savings in production cost.

Waste Treatment Recommendations

The waste treatment system appeared to be working well so the only recommendations that were made was that the plant collect weekly data on inflow and discharge streams to establish treatment efficiency. Analyses that should be run on both streams are BOD, COD, pH, total solids, dissolved solids, and suspended solids. This would document treatment efficiency and identify operational difficulties.

3. Sao Paulo Alpargatas S.A.

Rodovia SP-127, km 118

Tatui, S.P., Brazil.

Contact: Altino Fortuna.

The Sao Paulo plant is located in Tatui and employs 1,000 people and process approximately 100,000 kilograms of fabric per day. The fabric is mostly composed of cotton fiber with some cotton/polyester blends. The preparation and dyeing process is continuous and the caustic used for mercerization recovered by a conventional evaporator. The plant used reactive, vat, and sulfur dyes for cotton fiber and disperse dyes for polyester fiber.

The waste treatment system has been in operation for 14 years and uses a return sludge extended aeration process with a retention time of 1.5 days. The unrecovered caustic in the wastestream is sufficiently neutralized with carbon dioxide so that it did not damage the biological process. The system appeared to be working well the day the plant was visited.

In-Plant Recommendations

This was one of the most modern plant visited with extensive new equipment in operation. Because of the new equipment it should be possible to use automation control of the preparation and dyeing process and decrease water and fuel consumption. While computers are not fully available in Brazil they are gaining acceptance and the plant should make an effort to utilize this technology as soon as possible.

The plant could also decrease caustic consumption with the use of a membrane filtration system for purification of their caustic wastestream before it reaches the evaporator system. This would reduce the need for wastewater neutralization and should improve the operation of the waste treatment system.

Waste Treatment Recommendations

The waste treatment system appeared to be operating well the day the plant was visited. Because the biological system operates with only 1.5 days retention significant quantities of sludge are produced and must be disposed of to landfill. If the equalization system was incorporated into the aeration process so that the retention time could be extended to 3-4 days the sludge volume would decrease and the treatment efficiency improve.

4. Industria de Meias Scalina Ltda.

Av. Papa Joao Paulo I, 5235

Guarulhos, S.P., Brazil.

Contact: Ronaldo D. Heilberg.

The plants total operation was devoted to the production of knitted hosiery and socks composed of cotton and nylon. Approximately 1,000 employees worked 3 shifts for 24 hours a day, six days a week. The plant facility occupied practically all of the available property and no waste treatment system was in operation at the present time.

In-Plant Recommendations

Approximately 70% of the plants production is devoted to women's hosiery with much of this having a similar tan shade. This production could utilize a dyebath reuse concept where the dyebath is stored in a separate tank immediately after the dyeing step (before rinsing), and reused for the next dyeing operation. This procedure has been used in the U.S.A. with success and could significantly reduce the waste stream volume. The

concept could also be applied to rinse bath reuse but would have to be installed with careful laboratory supervision. By using this procedure water, energy, chemicals, and waste treatment requirements should be reduced significantly and the rate of production should be increased. Future contact with the plant is planned to provide information for the development of this concept.

Waste Treatment Recommendations

The plant has a waste volume of 300,000 liters/day and no waste treatment system and very little space available in which to construct a system. A recommendation was made to investigate the acquisition of nearby property and volunteer to treat the waste from the adjacent apartment complex for 2500 people with cooperation of the local government. The plant waste and the domestic waste could be treated together in a biological system where neither are presently treated. The added cost would not be greater if the city would provide the land and a 3-5 day activated sludge lagoon system was constructed. This would benefit the plant and the city.

Another suggestion was made to investigate an upflow anaerobic sludge blanket system which would require little energy and little space. The city of Sao Paulo has been involved with several projects involving this system over the past seven years and has had success with the process. The plant could contact Sonia M. M. Vieira of CETESB, Sao Paulo for further information.

ANNEX 6

Papers Prepared for Distribution During the Consultation Period

- A. Elimination of Wastewater by Automation. Recycle and Reuse, p.35
- B. Textile Dyeing and Finishing Processes and Wastewater Treatment Methods. p.61

**ELIMINATION OF WASTEWATER
BY AUTOMATION, RECYCLE AND REUSE**

ELIMINATION OF WASTEWATER BY AUTOMATION, RECYCLE AND REUSE

Abstract

The continued increase in the cost of chemicals energy and water makes their recovery more important today than in the past when automation control was not used and waste water recycle was first introduced to the textile industry. While the recycling techniques using filtration have only been used at a few installations, these plants have been able to save enough to pay for the recovery process in one to two years. One key to having a successful recovery operation is to have good automatic control of the process. This can drastically improve the economics of the textile process as well as minimizing the cost of the recovery system. The application of automatic control to the preparation process will be presented.

Introduction

If you evaluate the potential for wastewater, energy and chemical recycle in the textile industry it is important to look at the size of the industry and to determine what effect recycling will have on the available resources. Information for this is presented in Figure 1 showing the quantity of fibers, water and energy consumed on a daily basis. The cost of water is estimate to be \$0.5 million dollars/day, waste treatment \$ 1 million dollars/day and energy \$ 5 million dollars/day. When you add to this \$ 30 to \$ 40 million dollars for the fibers used you arrive at a total figure near \$ 50 million/day when all of the dyes, finishes, and other chemicals are included.

While automation control is relatively new, the concept of recycle of wastewater has been actively discussed and investigated for the past 20 years in the textile industry. The early application of ultrafiltration to PVA (Poly Vinyl Alcohol) size recovery was accepted and used in a full plant

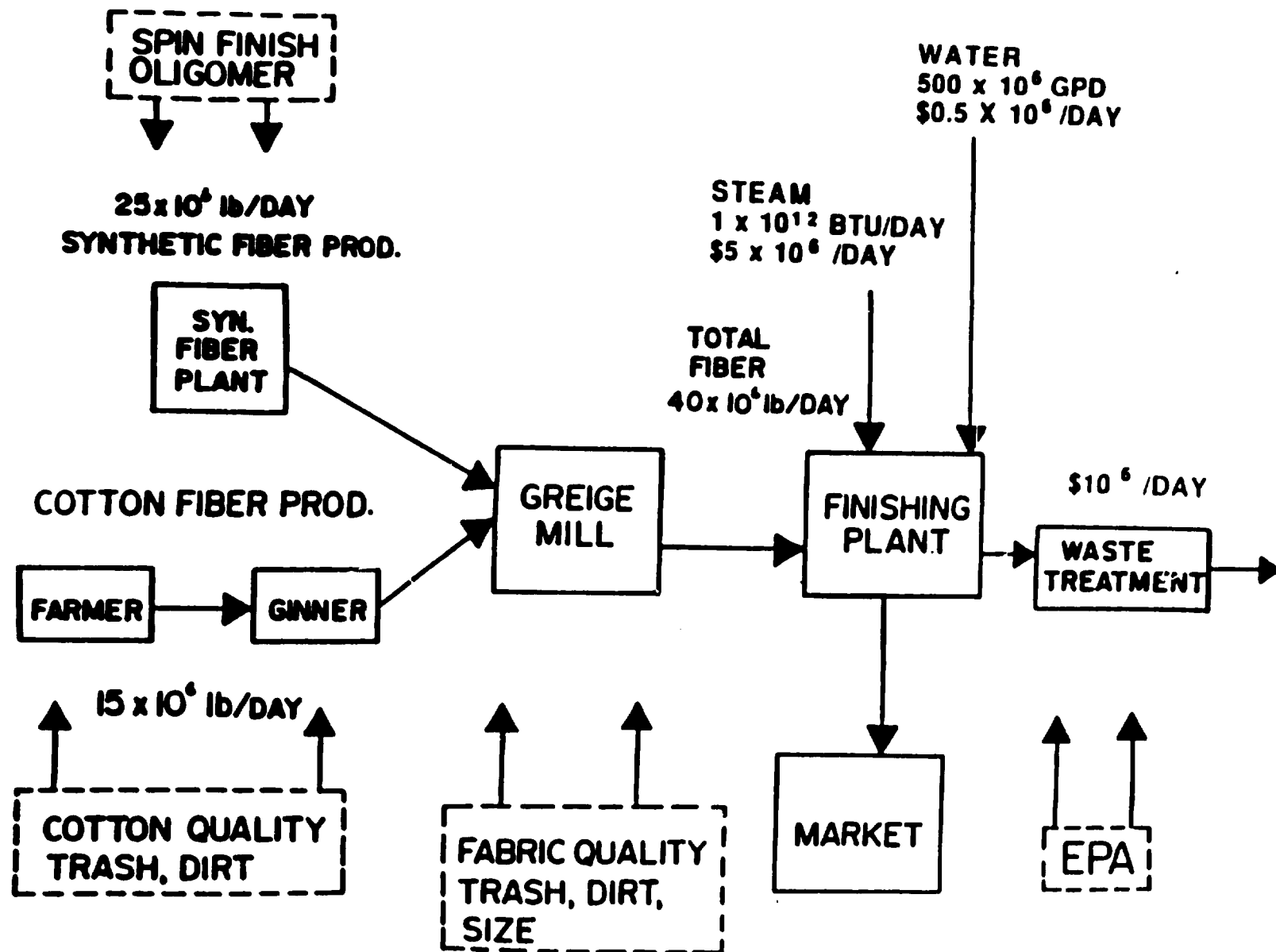


Figure 1 Factors Effecting Finishing Plant Operation

scale installation (1) almost 20 years ago. The process was successful then and continues to perform well. One limitation on the use of ultrafiltration was the diversity of sizing chemicals that are in use and the difficulty in controlling the size used on grey fabric which may be necessary if a plant is to recover PVA size from its preparation range. If complete automation control were used it may be possible to allow other sizing agents to enter the desize operation and automatically divert them to avoid PVA contamination. In spite of this problem there has been an increase in the number of plants that are recovering PVA size. While the recovery of size is only done in a small fraction of the finishing plants, the interest in the recovery process is strong and the need appears to be increasing (2).

As hazardous waste regulations increase and restrictions on the discharge of trace metals increase, the textile industry will be faced with the continual upgrading of its treatment facilities (3). These regulations are indirectly connected to the recycle process and illustrate the continual increase in the cost of all aspects of waste treatment.

The cost of energy is much higher today than it was almost 20 years ago when the recovery of PVA was first introduced. Since all of these factors continue to place pressure on the industry to eliminate waste discharges, we will briefly describe three recovery processes and then look at the preparation process in detail where automation and recycle may be applied with considerable savings.

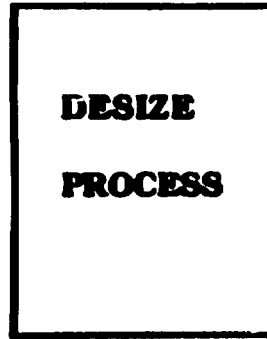
PVA Recovery

For reference and the appreciation of the value of recovery, the factors that determine the cost of PVA recovery are shown in Figure 2. As can be seen the recovery from one range can amount to over \$5600/day. The equipment can be paid for in approximately one to two years which accounts for the fact that there is a strong interest in the recovery of PVA today (4). One very important factor is that when you recover size you eliminate from discharge to the environment 60,000 gallons per day for each range on which the sizing waste is recycled. You no longer have to be concerned about discharge problems with this portion of the wastestream.

DESIZING COST

COST

FABRIC
100 YPM
→
WATER 70 °F
42 GPM
→
STEAM
→
70,000 BTU
MIN



FABRIC
100 YPM
→
→
→

STEAM \$ 5/10⁶ BTU
WATER \$1/10³ GAL
WASTETREAT \$2/10³ GAL

WASTE WATER 42 GPM
190 °F

WATER, STEAM & CHEMICAL COST

WATER = \$0.050/MIN.
STEAM = \$0.35/MIN.
WASTE TREAT. = \$0.10/MIN.
TOTAL = \$0.50/MIN.

WASTESTREAM VALUE

SIZE (PVA) = \$4/MIN.
ENERGY = \$0.25/MIN.
TOTAL \$4.25/MIN.

90% WATER & SIZE RECYCLE

WASTE STREAM \$4.25
WASTETREAT
& WATER \$.15
4.35

4.35 X 90% = \$3.92/MIN.

OR \$5638/DAY

Figure 2 Value of PVA Recovery

While some blow down or clean up waste is still discharged, the volume is very small and only a small fraction of the unrecycled wastestream. The cost of PVA has increased as well as fresh water cost and waste treatment cost. All of these factors make the recycle of PVA more attractive today than in the past.

Caustic Recovery

The recovery of caustic from the mercerization process is a common practice in the textile industry and has been for many years. The mercerizer rinse water is normally recovered for evaporation when its concentration is above 2-3% and discharge to waste treatment when its concentration is below this level. The impurities which are extracted from the fabric build up in the used caustic solution as the caustic is recycled and eventually require that the wastestream be discharged and fresh caustic be used for mercerization. One alternative to this procedure is to use an ultrafiltration membrane to filter the caustic rinse water before the solution goes to the evaporator. The clarified and concentrated caustic solution is then ready for reuse many times and the consumption of caustic is significantly decreased. One system has been described previously (5) and has been increased in size since it was first installed (6).

Indigo Recovery

The recovery of indigo dye has been described (4) and is an example of a system suited for the ultrafiltration process. The dye has a significant value at \$ 9/lb. and because of its deep blue color would be readily visible in a receiving stream. If you are able to recover the dye you can prevent pollution and save valuable resources at the same time.

The recovery system for indigo uses a multistage vinyl-sulfone membrane. The dyeing process has been modified so that when sulfur dyes are used they are applied after the indigo dye is applied and will not contaminate the indigo wastestream.

The system is preceded by a vibrating screen used for lint removal from the wastestream before it enters the multistage membrane system. After the indigo is concentrated it is filtered through a basket strainer and stored in a holding tank capable of holding a four days supply of concentrate. The clear filtrate is discharged to waste treatment containing the used chemicals from the dyeing process minus the indigo dye.

Preparation

Fabric preparation is the most important step in the finishing plant and must be completed before the dyeing and finishing operation can be performed. If the fabric is not consistently and uniformly prepared it will be difficult for the dyeing operation to make adjustments to correct for differences in fabric water pick up. If the process is a continuous operation the problem will be severe because the fabric will wet out differently or unevenly. If the process is a piece dyeing operation the conditions of dyeing will have to be changed. All of these factors are well known and the textile industry is well aware of the needs for good fabric preparation.

The normal procedure used to attain good preparation is to set the range conditions to those needed for difficult to prepare fabrics. These conditions for temperature, water flow, and chemical feeds are used for all fabrics and may remain at these settings even though they may not be required but a fraction of the time. This is illustrated in Figure 3. The process illustrated has no automatic process control and steam or water flow will vary as plant water and steam pressure vary. In this regard fabric requirements may not be met when plant water and steam pressure are low. As you can see in Figure 4 changing to automatic control adjusts supply to need rather than a setting that may have nothing to do with the fabric being prepared at a specific time.

To recover chemicals and hot water from a process it is most important to control the process and know the exact needs for the process.

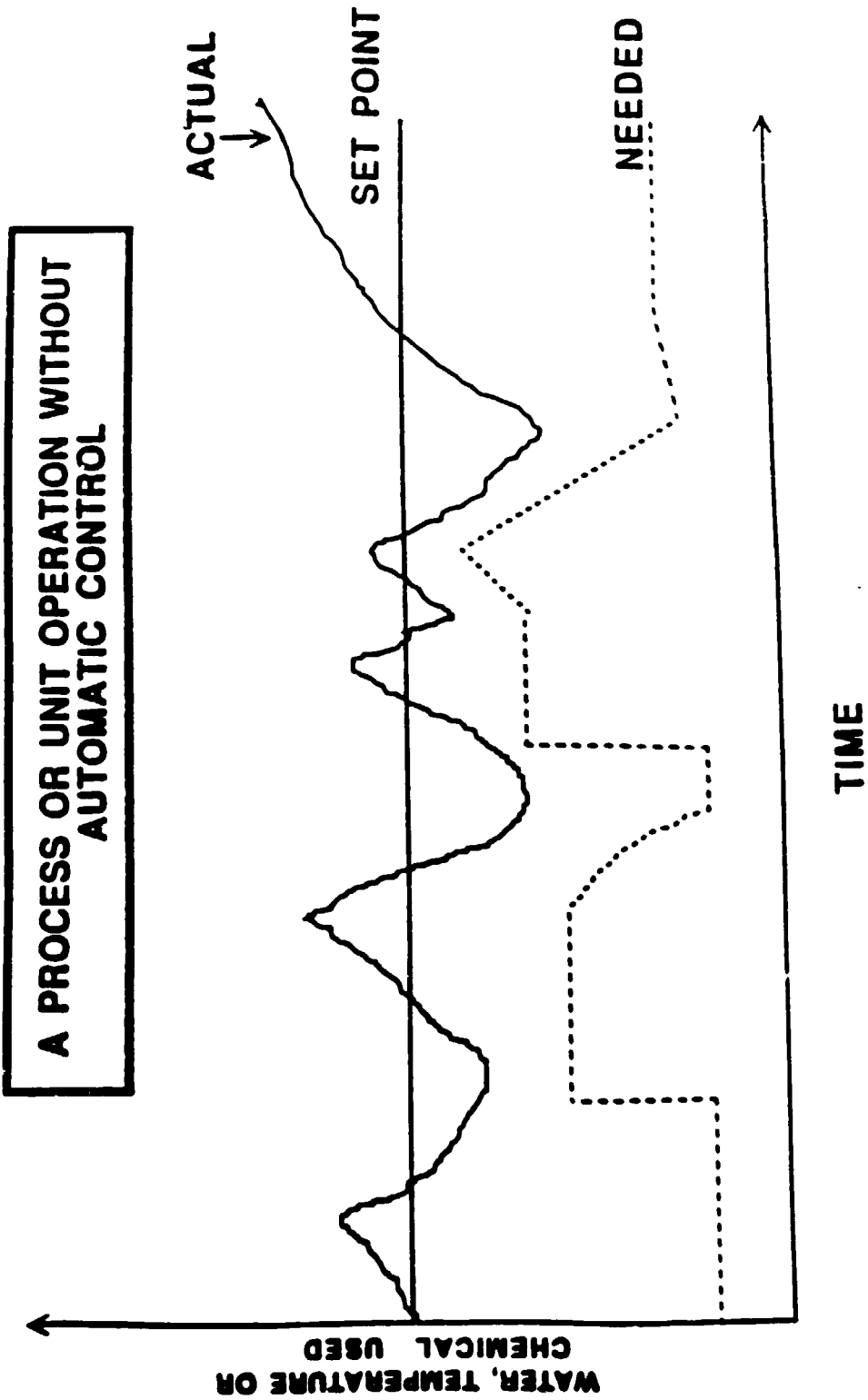
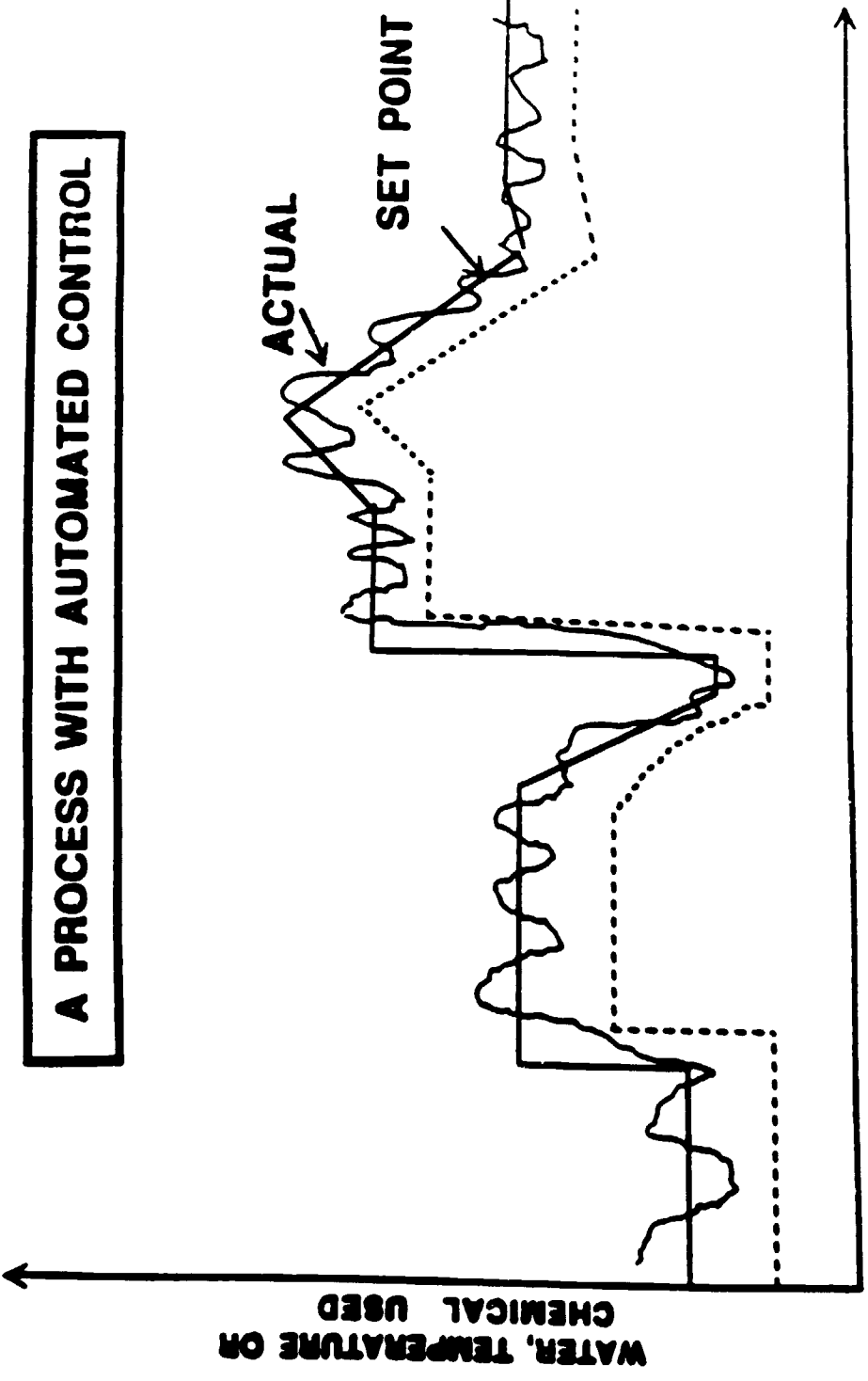


Figure 3



TIME
Figure 4

The recovery process can then be designed to an optimum size and the holding capacity necessary for reuse can be designed properly.

In Figure 5 we have illustrated a preparation range showing three stages: Desizing, Scouring, and Bleaching. When the fabric is to be mercerized it must be transferred to a separate range for mercerization. The wash water from mercerization is generally collected for evaporative recovery when the concentration of NaOH is near 3% or higher. When it is below 2% it is discharged to waste treatment. The description of the application of a membrane recovery system to mercerization was presented earlier (4).

The peroxide washer wastewater may be used directly as feed to the caustic washer. When this is done it is possible to save \$150,000 to \$300,000/yr., however, it will be necessary to install a pump and the small retrofit cost has not encouraged many textile plants to make the change. The total solids present in the peroxide washwater is generally less than 0.5% and should cause few problems for the caustic washer. One point of caution is the use of silicate stabilizers for the peroxide bleach. They could interact with calcium or magnesium salts present in the natural cotton fiber and give a precipitate. In many cases organic stabilizers are used which should not give a problem. Most people feel this should not limit the reuse of peroxide wash water.

A small but important point is the energy loss when the fabric is skyed (\$ 16,000/yr). If this could be avoided the saving would amount to \$ 32,000/yr for the two skying operations shown in Figure 5.

The caustic washer contains less than 1% total solid and may possibly be used for the desize washer when the size is not recovered. This is a more difficult option, but the potential to save an additional \$150,000 to \$300,000/yr. makes the process very attractive. The decrease in total wastewater flow not only saves on the cost of water, waste treatment and energy, but can improve the biological treatment process used by most textile plants. When the plant recycles water, the water flow going to the waste treatment plant is reduced and the retention time available for

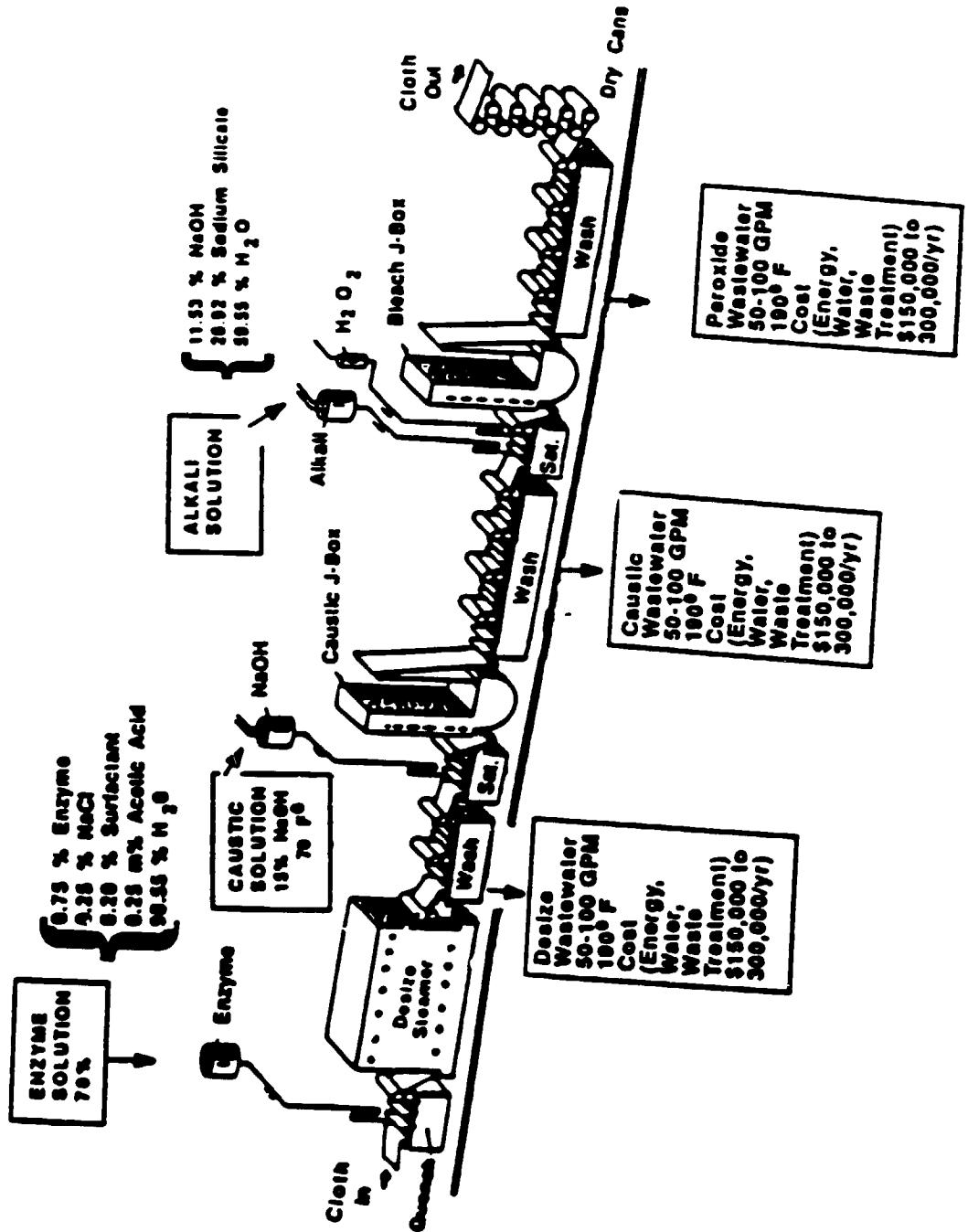


Figure 5 Three-Stage Rapid Bleach Range

biological treatment increased. This should improve the biological waste treatment and reduce aeration requirements if no change is made in the volumetric capacity of the waste treatment system.

The overall potential for savings in caustic, water, steam and waste treatment could be over \$ 500,000/yr. and once demonstrated as practical would only require a few pumps and 1 or 2 screen filters to be installed to become a reality. When sensitive fabrics are processed the range could automatically adjust flows to meet fabric requirements.

Application of Automation Control

The biggest problem with making changes between runs of different fabrics on the preparation range, shown in Figure 5, is the time that it will take the operator to adjust flows and settings along the range. This may be such a problem that it can not be accomplished in the short time available. If we examine the range in Figure 5 we can imagine that 30-40 settings may be changed when a different fabric is introduced on to the range. This would require that several operators be ready to change settings for each fabric. A more realistic procedure would be to set the range for the most critical fabric and leave it at this setting for all fabrics. In most cases this is probably what is done.

A better approach would be to operate the range using an automatic control system where each flow and temperature is automatically controlled. Then when the fabric is changed the range conditions can change automatically and remain at the new set-points until the fabric changes again. By doing this automatically human error is minimized and operating conditioning can be changed quickly. When drastic changes are made for different fabrics this can be designed into the control program so that the speed of the range is slowed to allow time for conditions to adjust.

To help the reader visualize the concept an automatic control system is shown in Figure 6. Here specific recipes are shown on the cards to the left of the figure. This information is stored in the computer which is

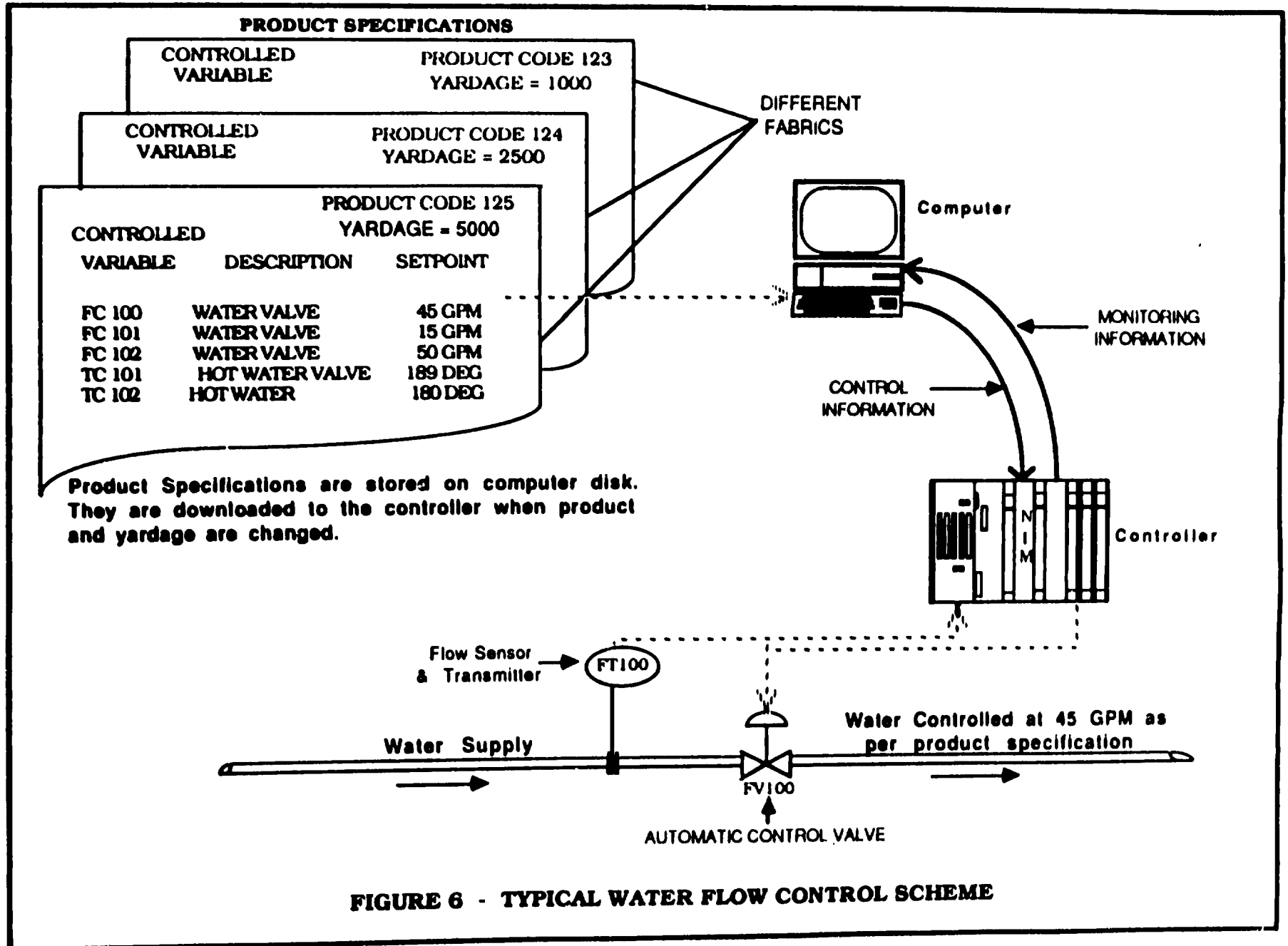


FIGURE 6 - TYPICAL WATER FLOW CONTROL SCHEME

connected to the controller which receives information from the sensors for measuring flows and then transmits a signal to the valves that control the flow. The control "loop" concept can also be used for steam or chemical feeds.

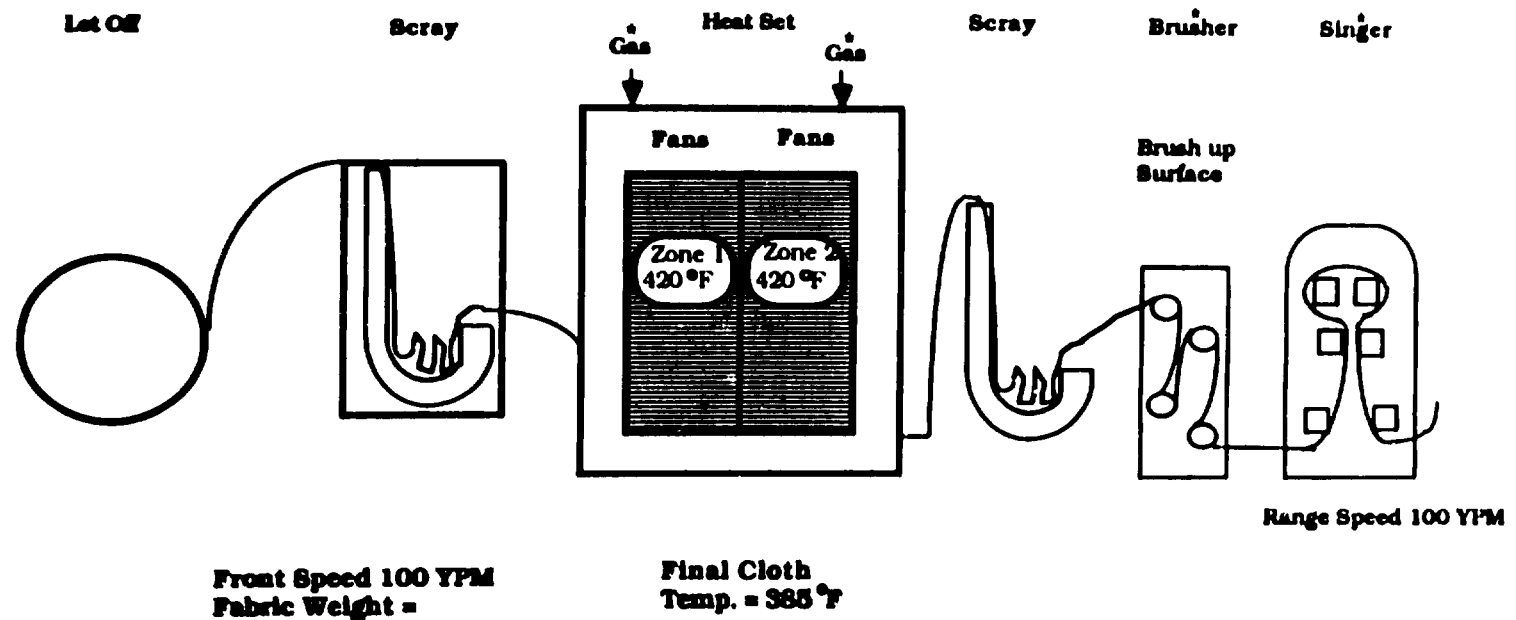
When a specific fabric is introduced onto the range a specific code for that fabric is typed into the computer with the yardage to be processed. All the temperature flows and chemical feeds are adjusted to process the fabric for desizing, scouring and bleaching. The speed of the range can also be controlled to provide more or less time for the fabric being processed. Labor requirements are minimized and the process conditions can be monitored and stored for record keeping. This way the operator can compare the designed operating conditions to those actually run and insure that a preventive maintenance schedule is being followed.

The range shown in Figure 5 is broken down into segments in Figure 7 to 14 which is representative for cotton and polyester/cotton fabrics processed in the textile industry. Each figure identifies points in the process where automatic control can be applied. No controls are shown for nip-roll pressure but may be added to the control system if needed. The cost of fresh water, wastewater treatment and steam are shown in Table 1.

Table 1. The Cost of Water, Waste Treatment and Steam

Item	Cost
Process Water	\$ 1/1000 Gallons
Wastewater Treatment	\$ 2/1000 Gallons
Steam	\$ 5/10 ⁶ BTUs

FIGURE 7 - CONTINUOUS PREPARATION RANGE
HEAT SETTING AND SINGEING



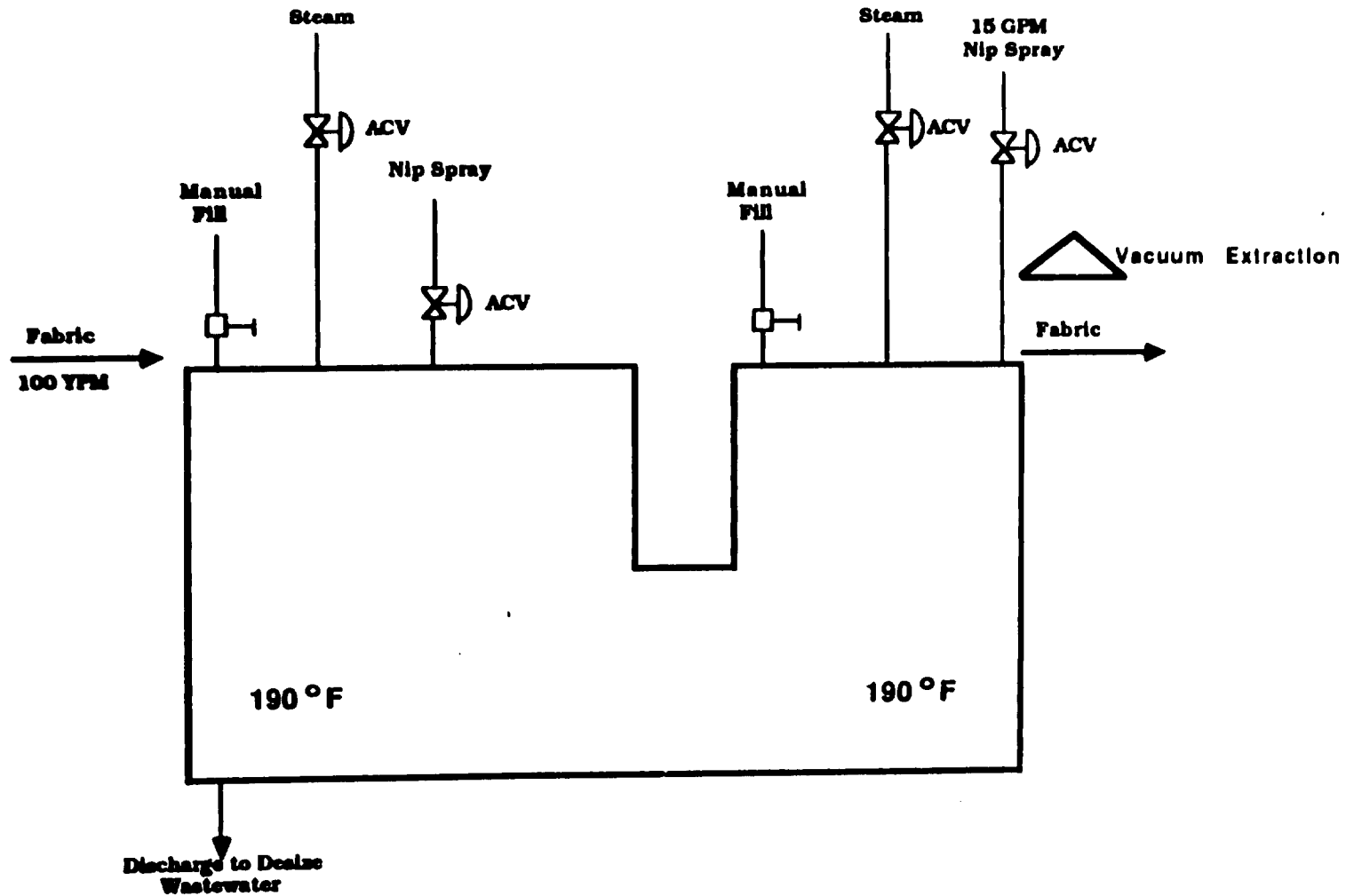
Requirements for Preparation Range

- Total Hot Water = 300 GPM (190°F)**
- Total Cold Water = 15 GPM**
- Total Steam = 10,500 lb/hr.**

• Automatic Control

FIGURE 8 - CONTINUOUS PREPARATION RANGE

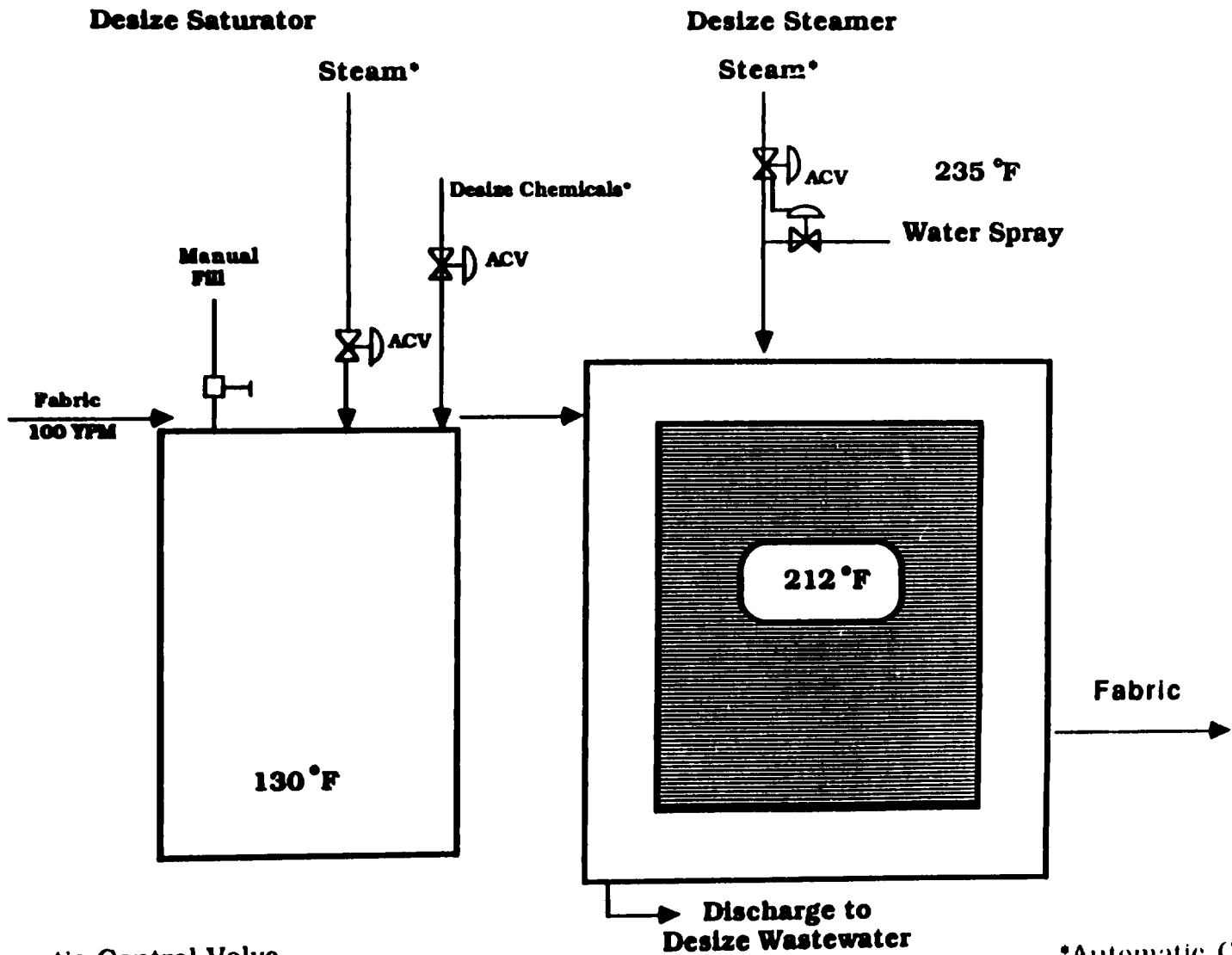
DESIZING PREWASHERS



AUTOMATIC CONTROL BY COMPUTER
Setpoints From Product Specification's

ACV - Automatic Control Valve

FIGURE 9 - CONTINUOUS PREPARATION RANGE

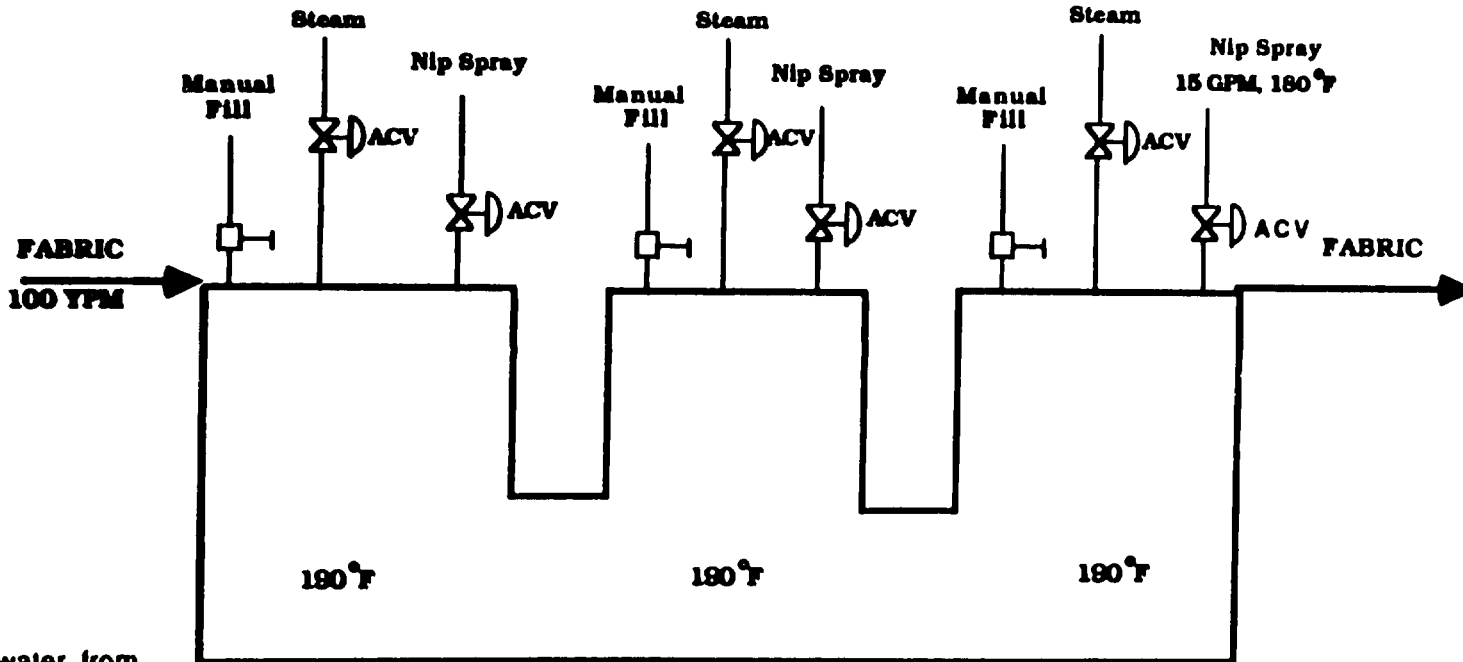


ACV - Automatic Control Valve

*Automatic Control

FIGURE 10 - CONTINUOUS PREPARATION RANGE

DESIZING WASHERS



Wastewater from
Prewasher &
Steamer

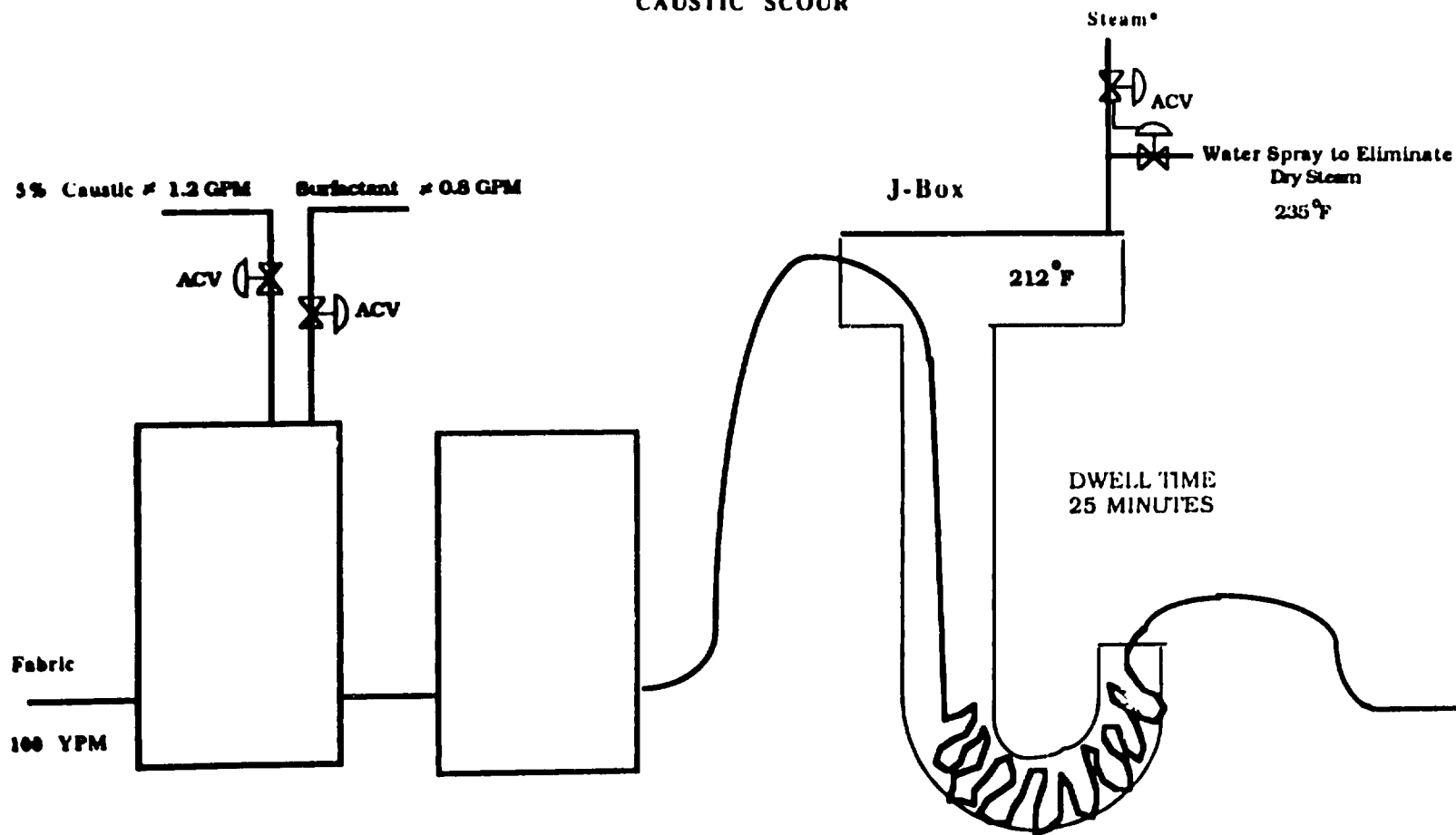
Discharge Flow 50-100 GPM
Value of Water, Waste Treatment
& Steam = \$150,000 - \$300,000/yr

AUTOMATIC CONTROL BY COMPUTER

ACV - Automatic Control Valve

FIGURE 11 - CONTINUOUS PREPATATION RANGE

CAUSTIC SCOUR



ACV - Automatic Control Valve

*Automatic Control

FIGURE 12 - CONTINUOUS PREPARATION RANGE

CAUSTIC WASHERS

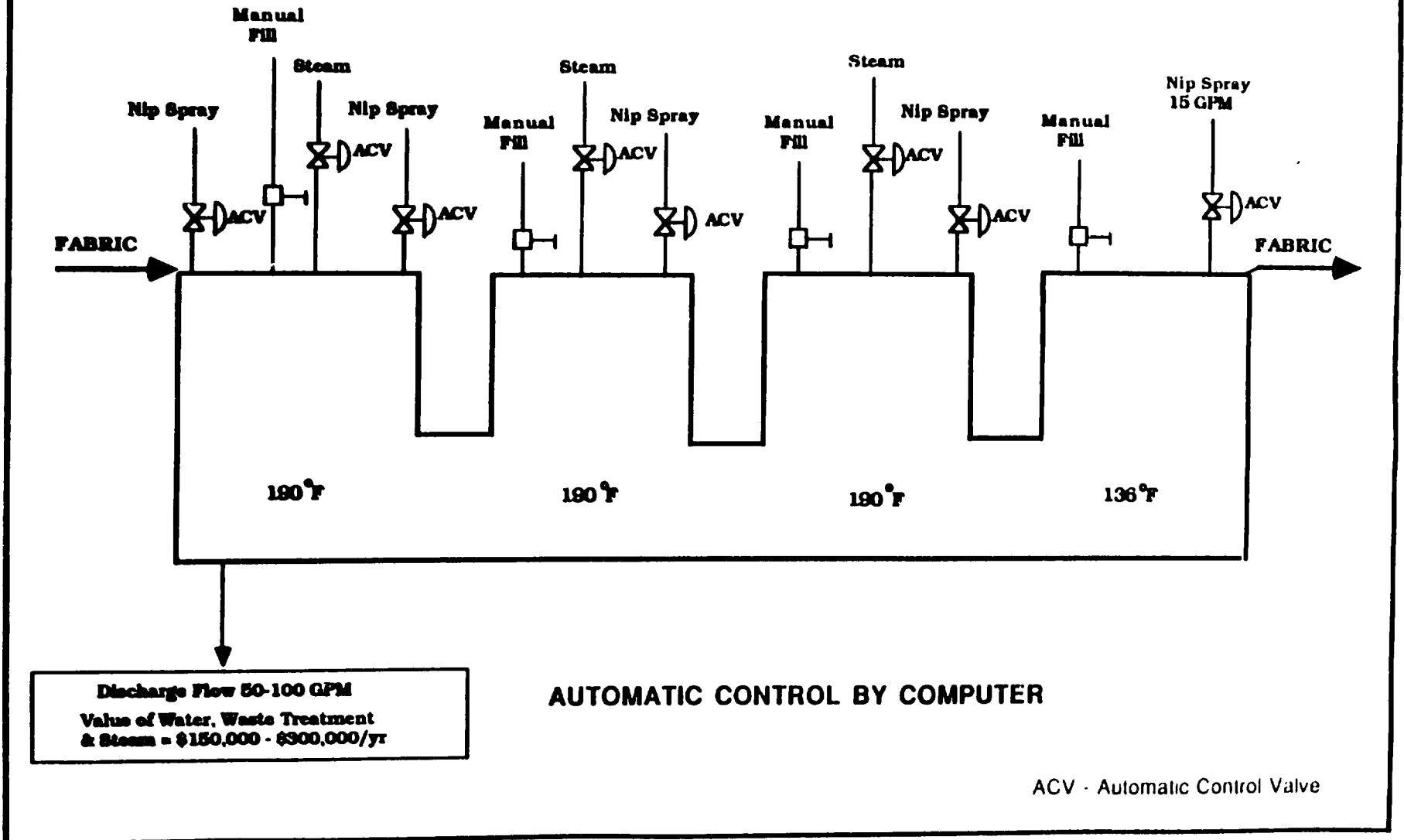
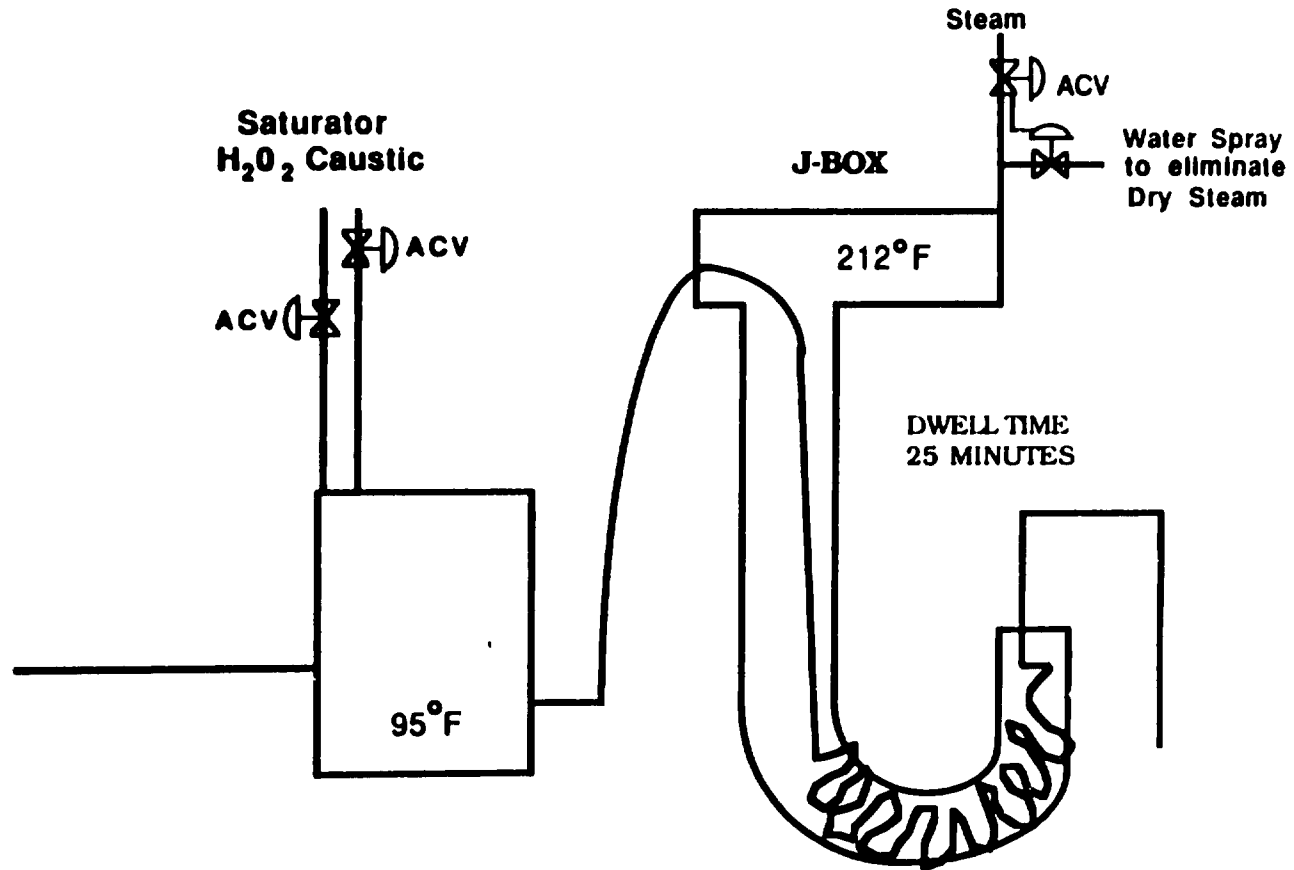


FIGURE 13 - CONTINUOUS PREPARATION RANGE

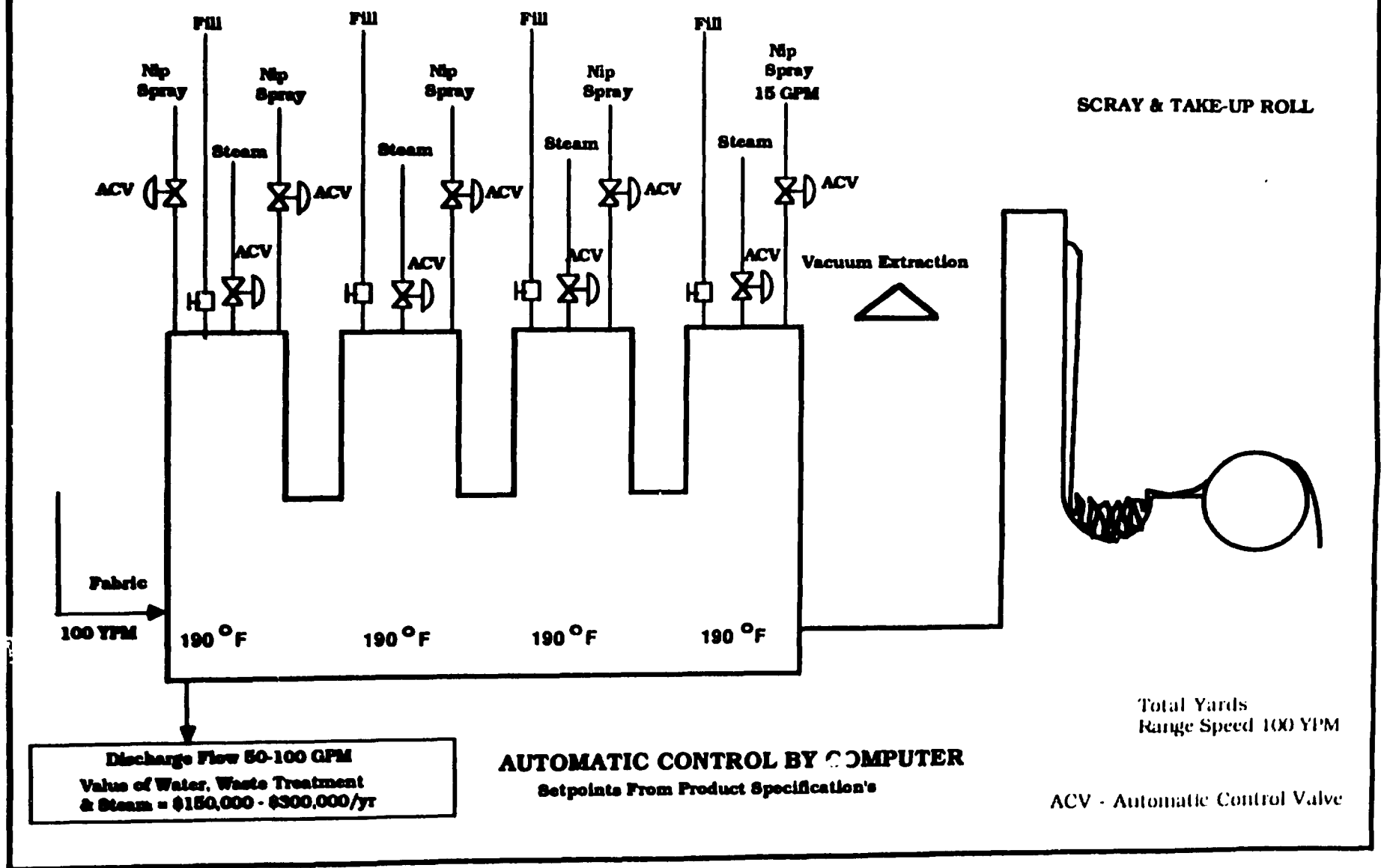
Peroxide Bleaching



AUTOMATIC CONTROL BY COMPUTER

ACV - Automatic Control Valve

**FIGURE 14 - CONTINUOUS PREPARATION RANGE
PEROXIDE WASHERS & TAKE-UP ROLL**



The greatest savings may be realized in increased production which should lower labor cost per yard. The additional cost for automation control would be the need for a good maintenance program which would be required to insure that sensors and control valves operate properly. This should normally be provided anyway as down time during working hours is very costly to the textile industry. The automatic control system provides a method for management to check to see that all systems are operating properly and that maintenance schedules have been observed.

Recovery of Energy and Water

The recovery of chemicals and water has been identified earlier (4) and the savings can be significant. Several mills have attempted to reuse the bleaching wastewater shown in Figure 14 to supply wash water for the caustic washers shown in Figure 12. This will work fine for several fabrics but may not in specific cases. When automatic control is used the wastewater can be reused or automatically diverted to the drain when it can not be reused. This eliminates the guess work from the process and provides the operator with the controls to minimize water and steam consumption. The recorded data also builds a bank of data which is more valid than memory and allows careful changes to be made to optimize savings.

When wastewater from bleaching is reused, it may be necessary to remove lint from the wastewater using a lint screen. This can also be automatically controlled so that the screen is back washed when the flow resistance reaches a certain point. The reuse of any wastestream lowers the hydraulic load on the wastewater treatment system and should decrease the cost of waste treatment.

The potential savings will come from recycling the wastestreams shown in Figures 10, 12, and 14. This could amount to a savings of \$250,000 to \$500,000 dollars annually and would provide a rapid payout for the automatic control system. When other factors such as increases in

production or decreases in wastewater treatment cost are considered the savings would be greater than those just mentioned and well worth investigating the use of automatic control.

Summary

The use of automation control is necessary today to compete in a world economy where labor cost are low in some countries and production schedules require just in time deliveries. Fuel, water, and wastetreatment cost are much higher today and the regulations governing wastewater discharge are much more demanding. All the these factors make automation control more attractive today and almost necessary and even more attractive in the future when fuel cost and wastewater discharge regulations increase.

Acknowledgments

The author would like to thank Bruce A. Evans of DuPont for supplying information on fabric preparation and K. Don Ledford of Texas Instruments for helpful discussions and the preparation of several figures. Thanks are also due to Dr. Douglas V. Rippey, Patricia Cook and Patricia Roper for artwork and manuscript preparation.

References

1. Aurich, C.W., PVA Recovery by Ultrafiltration, Textile Technology/Ecology Interface, AATCC, Charlotte, North Carolina, May 1975.
2. Pollution Research Group, Closed Loop Recycling of Textile Sizing/Desizing Effluents, Am. Dyestuff Reporter, Vol. 77, #10, 1989, p. 26.
3. DeGraeve, G. Michael, Journal Water Pollution Control Federation, 62, 1989, p. 430
4. Porter, J.J. Porter, Membrane Filtration Techiques Used for Recovery of Dyes, Chemicals and Energy, Textile Chemists and Colorists, 22 June 1990, p. 21.
5. Gaddis, J.L., H.G. Spencer and P.A. Jermigan, Caustic Recovery and Recycling at a Textile Dyeing and Finishing Plant, Advances in RO and UF, American Chemical Society Meeting, Toronto, Canada, June 1988.
6. Johnston, L and TW Wett, Filtration System Slashes Caustic Use and Minimizes Waste Stream, Chemical Processing, March 1989, p. 36
7. Porter, J.J. and Grant A. Goodman, Desalination, 49, 1984, p. 185.

**TEXTILE DYEING AND FINISHING
PROCESSES AND WASTEWATER TREATMENT
METHODS**

**By
John J. Porter
&
Deyse Lucidi do Carmo**

**CENTRO do Tecnologia da Industria Quimica
Textile
Servico Nacional de Aprendizagem Industrial
Rio de Janeiro, R.J. 20961
Brasil**

PROCESSOS DE TINGIMENTO E ACABAMENTO E MÉTODOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

- John J. Porter, Escola Têxtil, Universidade de Clemson, Carolina do Sul, USA
- Deyse Lucidi do Carmo, CETIQT-SENAI,RJ

No passado, quando uma estação de tratamento era projetada e construída, achava-se que ela trataria adequadamente o efluente tão somente por meio de algumas pequenas revisões projetadas para o futuro próximo.

Hoje em dia, esse pensamento pode não ser inteiramente válido no que tange às plantas convencionais de tratamento de despejos.

O público está ficando cada vez mais à par dos problemas que a poluição pode causar e cada vez mais apreensivo com os problemas desconhecidos, ainda não identificados. Esses dois fatores provocam a criação de novas leis e regulamentações mais rigorosas quanto ao lançamento de efluentes em cursos d'água naturais.

Cada novo produto é acompanhado por um novo ou diferente efluente. Um efluente homogêneo e biodegradável pode vir a ficar heterogêneo e inerte. Isto significa que as estações de tratamento de efluentes devem ser construídas com flexibilidade suficiente para se adaptarem às mudanças ocorridas no processo produtivo. Isso é difícil de se conseguir quando o efluente industrial é tratado em uma estação de tratamento municipal. Em alguns casos, a mistura dos efluentes industrial e municipal produz um outro menos adequado para o tratamento biológico ou químico. Daí surge a questão: o efluente industrial deve ser tratado pela municipalidade ou pelas próprias indústrias? Não existe nenhuma resposta óbvia, mas qualquer produto ou serviço que cause poluição deve pagar sua parte na restauração da água a condições desejáveis.

Um melhor "insight" concernente a algumas das questões que têm sido levantadas, pode ser obtido pela observação das mudanças que têm ocorrido na indústria têxtil no curso dos últimos 20 anos e como essas mudanças afetarão os métodos de tratamento.

FIBRAS

Em 1950 a fibra mais consumida no mercado americano era o algodão. A quantidade de fibras artificiais produzidas nessa época era muito menor do que a quantidade de algodão.

O "insight" oriundo dos processos de beneficiamento têxtil forma uma parte considerável dos sólidos suspensos contidos no efluente têxtil. No caso das fibras naturais, a degradação biológica ocorrerá quando a fibra for retirada com o lodo biológico na estação de tratamento. Esse não é o caso para a maioria das fibras artificiais.

que são, comparadas ao algodão, praticamente inertes. As fibras artificiais em estações de tratamento que trabalham com aeração mecânica podem causar danos a bombas e aeradores, a menos que as fibras sejam removidas do efluente antes que o mesmo entre na estação de tratamento. Isso geralmente é conseguido através do peneiramento do efluente à entrada da estação de tratamento. Em alguns casos essa é uma operação de difícil execução que emprega peneiras finas para remover fibras de 15 microns de diâmetro. A dificuldade da operação reside no fato de que a peneira pode ser obstruída muito facilmente e também porque ela costuma reter sólidos suspensos, adequados para o tratamento biológico.

ENGOMAGEM

O principal polímero usado antes de 1960 para a engomagem era o amido. Esse polímero natural de glucose é facilmente degradado biologicamente e não apresenta nenhum problema para a estação de tratamento, a não ser a alta carga de DBO.

O desenvolvimento de muitas fibras artificiais e seu uso em tecidos mistos, criou a necessidade de novos tipos de goma, mais compatíveis com essas fibras.

Algumas dessas gomas ainda usadas atualmente são o álcool polivinílico (PVA), a carboximetilcelulose (CMC) e o ácido poliacrílico. Das três, o álcool polivinílico e a carboximetilcelulose são as mais usadas.

O total de produtos que entra no efluente atualmente pode ser estimado a partir do consumo de fibras. Se considerarmos uma concentração média de 10% de goma sobre os tecidos, que constituem 70 a 80% da produção total, aproximadamente 180 mil toneladas por ano fazem parte do efluente têxtil. Isso contribui com a maior carga de DBO em uma estação de tratamento, no caso de goma de amido (1).

Uma vez que o PVA e a CMC degradam vagarosamente (2), não podemos esperar um alto rendimento dos processos convencionais de tratamento. Embora o polímero possa ser parcialmente removido do efluente através de sua adsorção pelo lodo, é questionável a efetividade desse método de tratamento. Essa fato leva a uma discussão sobre a validade da análise de DBO para o efluente industrial e sugere a análise de carbono total como indicativo dos contaminantes orgânicos (3).

COZINHAMENTO

A alteração ocorrida no cozinhamento que possivelmente tem recebido a maior atenção desde 1950, foi a utilização de detergentes biodegradáveis (4,5).

Atualmente, a maioria dos detergentes é, no mínimo, parcialmente biodegradável, de forma que a tendência à formação de espuma pode ser eliminada pela ação microbiana.

Um fator importante a considerar é o impacto ambiental causado por solventes usados nas operações de cozinhamento (6). Diversos solventes - tais como álcoois minerais, clorobenzeno e percloroetileno - têm sido usados como auxiliares para a remoção de manchas de óleo das fibras artificiais (7). Alguns dos solventes são inertes ao tratamento biológico (2) e normalmente não são removidos do efluente em estações de tratamento convencionais.

Alguns dos maiores fornecedores de produtos químicos têm sugerido processos de cozinhamento com solvente, onde se utiliza pequena quantidade de água (8). Nesses casos são empregados solventes clorados não inflamáveis e a recuperação de solvente é calculada em torno de 90 a 97%. Se considerarmos uma recuperação de 93% de solvente, em uma linha de beneficiamentos contínua, produzindo 64m/min, verificamos uma perda de, aproximadamente, uma tonelada de solvente por dia por linha de produção. Métodos químicos de tratamento podem ser necessários e poderão pagar parte de sua operação pela recuperação de solvente para reutilização. Quando os métodos de tratamento são capazes de recuperar do efluente produtos químicos de alto custo, nos processos de produção, anteriormente considerados muito caros, podem ser desenvolvidos.

MERCERIZAÇÃO

O objetivo original da mercerização era aumentar o brilho das fibras de algodão. Atualmente, o principal objetivo da mercerização é aumentar a afinidade a corantes e a capacidade de absorção da fibra. Como as fibras artificiais não são mercerizadas, o uso do processo dependerá da quantidade de fibra de algodão processada na indústria.

Uma redução significativa no consumo de NaOH é conseguida quando unidades de recuperação de soda cáustica são instaladas em plantas de beneficiamento têxtil. Diversos estudos (1,9) têm sido realizados e comprovam o aumento da eficiência de estações de tratamento quando a carga de NaOH é diminuída. As vantagens indiscutíveis advindas desse processo justificam seu uso pela maioria das plantas de beneficiamento têxtil.

ALVEJAMENTO

O alvejamento é uma operação de beneficiamento têxtil que tem apresentado um bom avanço nos últimos 30 anos, período em que a poluição das águas tem sido muito discutida e estudada. Em 1950, o alvejante mais usado era o hipoclorito de sódio (10); atualmente, o mais usado é o peróxido de hidrogênio. O peróxido de hidrogênio se decompõe em água e oxigênio e não forma nenhum sólido dissolvido ou qualquer outro resíduo. Na realidade, ele pode elevar a concentração de oxigênio dissolvido no efluente, o que é desejável em muitos casos.

TINGIMENTO

Depois das operações de acabamento, os processos de tingimento formam o grupo que apresenta a maior quantidade de novos produtos auxiliares desenvolvidos a cada ano. Além de aproximadamente 40 novas fibras surgidas nos últimos 30 anos, novos corantes para essas fibras são desenvolvidos todos os anos.

O mercado demanda melhor performance a cada ano. Os corantes têm que ser mais resistentes ao ozônio, a óxidos nítricos, à luz, à hidrólise e a outros agentes de degradação ambientais para conquistar o mercado.

Não causam surpresa os resultados negativos dos estudos realizados sobre a degradação biológica dos corantes que possuem especificação de resistência a esse tipo de tratamento. O alto poder tintorial necessário aos corantes comerciais não é uma vantagem quando esses corantes acabam indo fazer parte do efluente. Enquanto alguns corantes são biologicamente degradáveis, a maioria dos corantes é indesejável no efluente, devido à sua coloração. Para a remoção efetiva do corante do efluente, processos não biológicos tem que ser empregados em muitos casos. É muito difícil, se não impossível, conseguir a degradação de corantes no mesmo período de tempo normalmente empregado no tratamento convencional de efluentes.

Os produtos auxiliares utilizados em um tingimento também podem apresentar problemas para os processos biológicos. "Carriers" como metil naftaleno, cloro benzeno, difenil, ortofenil, fenol e álcool benzílico são utilizados para acelerar o processo de tingimento. Ao final do processo de tingimento, esses produtos são lançados pelo esgoto. Alguns são biodegradáveis e outros não. Embora os produtos não biodegradáveis possam ser adsorvidos pelo lodo em um processo de lodo ativado, o problema não é minorado se o lodo não for manipulado adequadamente, para evitar contaminação.

ACABAMENTO

Um processo de beneficiamento que modifique as propriedades físicas ou químicas de um tecido pode ser classificado como uma operação de acabamento. Alguns acabamentos comuns hoje em dia não existiam ou não eram significativos há 30 anos atrás. Podemos citar como exemplo os acabamentos "permanent-press", repelente ao óleo, "soil release", resistentes à abrasão e ignífugos. Alguns poucos produtos utilizados para esses acabamentos são biodegradáveis, mas a maioria não é.

Os polímeros utilizados para acabamento têxtil são geralmente fornecidos à indústria têxtil sob a forma de emulsão. Isso é feito devido à facilidade de manipulação e custo de fabricação. A maioria dessas emulsões é sensível ao pH, a sais ou agitação e podem coagular se se juntarem aos demais efluentes. As linhas de esgoto podem então ficar obstruídas com materiais inertes, que têm que ser removidos manualmente. Embora a maior parte da emulsão possa ser coagulada e removida em uma estação de tratamento, parte dela permanece emulsio-

nada e não é removida pelo tratamento biológico. Para completa remoção da emulsão, torna-se necessário um tratamento químico, não havendo necessidade, nesse caso, de um tratamento biológico pois, como já foi mencionado, não apresenta bons resultados.

As formulações para aplicação de acabamentos "lave-e-use" (wash-and-wear) e "permanent-press" normalmente contêm uréia, formaldeído, melamina e compostos glioxálicos. Alguns desses produtos são prontamente degradáveis pela ação microbiana e outros não (2). Os derivados de formaldeído podem reagir entre si ou com outros produtos contidos no efluente e formar produtos insolúveis, que podem ser removidos por sedimentação.

O mais recente acabamento a surgir no mercado foi o "soil release" (12). Esse acabamento pode ser obtido através da aplicação de copolímeros de acrilato e metacrilato contendo grupos livres carboxil. A maioria é resistente ao tratamento biológico. Métodos físicos ou químicos podem ser necessários para a remoção efetiva desses produtos do efluente.

ANÁLISE DE CARBONO TOTAL

Para se obter uma medição acurada dos compostos orgânicos presentes em um efluente, é necessário realizar uma análise de carbono total. O teste de DBO mede apenas a oxidação biológica e não dá indicação da presença de materiais não degradáveis.

Um comitê de pesquisa da Associação Americana de Químicos e Coloristas Têxteis publicou uma lista com os valores de DBO₅ de produtos auxiliares têxteis (2). De um total de 300 produtos, aproximadamente 40% deles apresentam um valor de DBO correspondente a 10% do valor da DQO e são, portanto, relativamente resistentes à biodegradação. Embora o teste de DBO seja uma medida de consumo biológico de oxigênio, em muitos casos ele não descreve a qualidade do tratamento do efluente.

PROCESSOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Os processos de tratamento de efluentes podem ser classificados em grupos que diferem, principalmente, pelo número de operações realizadas: tratamento preliminar, para remoção de areia e sólidos grosseiros; tratamento primário, que remove sólidos sedimentáveis e flutuantes; tratamento secundário, que remove matéria orgânica biodegradável; e tratamento terciário, usado para remover materiais resistentes ao tratamento secundário. Além desses processos de tratamento convencionais, existem métodos de tratamento químicos e físicos desenvolvidos mais recentemente, que podem substituir qualquer ou todos os processos citados.

TRATAMENTO PRELIMINAR

O tratamento preliminar inclui equalização, neutralização e possivelmente desinfecção do efluente, embora este último possa ser realizado ao final do processo de tratamento. A separação de diferentes linhas de efluentes é realizada por diversas razões, entre elas a presença de compostos tóxicos que poderiam interferir no balanço do crescimento bacteriano no tratamento biológico ou a possibilidade de efluentes tais como águas pluviais, esgoto sanitário e doméstico, que não exigem tratamento preliminar, estarem sendo misturados ao efluente industrial que precisa receber tratamento preliminar; e diferenças de temperatura, que também devem ser equalizadas.

A equalização ou mistura de diferentes efluentes é realizada para assegurar que variações e cargas de choque não sejam introduzidas no tratamento secundário. Variações de cargas são eliminadas pela mistura de efluente muito concentrado com efluente bem diluído. Diferenças na produção, tais como processamento por batelada e a possibilidade de variação na semana de trabalho, exigem a equalização do efluente para assegurar que o sistema de tratamento secundário não seja prejudicado. Se os vários fluxos de efluentes não forem cuidadosamente controlados, o tanque de equalização pode produzir mau cheiro e incômodo à vizinhança. Por essa razão, as instalações mais modernas realizam a aeração do efluente misturado, para reduzir a possibilidade de formação de maus odores e, ao mesmo tempo, diminuir a DBO₅ (13).

A neutralização torna-se necessária quando o processo biológico alcança um pH maior que 10 (14). A descarga direta do efluente ácido ou alcalino pode causar corrosão de tubulações e outros equipamentos. Regulamentações estaduais limitam a faixa de pH permissíveis para descarga de efluentes em corpos receptores.

O gradeamento e/ou peneiramento (15, 16 e 17) são empregados para remover as partículas flotantes ou suspenas relativamente grandes tais como fibras, produtos químicos não dissolvidos, etc do efluente, antes da aplicação de outros processos de tratamento. Os sólidos retirados nas grades e/ou peneiras podem ser removidos manualmente, mecanicamente ou por meio de jatos de água, vapor ou ar.

A sedimentação (18,19) emprega a força de gravidade para remover sólidos sedimentáveis do efluente. O efluente é enviado ao tanque de sedimentação e retido pelo tempo necessário à sedimentação dos sólidos. Um tempo de retenção muito prolongado provoca o aparecimento de espuma e crescimento do lodo, associado à produção de maus cheiros. Diferentes tipos de tanques, inclusive o tanque Imhoff, podem ser utilizados para a sedimentação. Os fatores que determinam o tipo de tanque de sedimentação a ser utilizado são a área disponível e as necessidades de disposição do lodo. Em geral, os sólidos sedimentáveis se depositam no fundo do tanque, onde formam um lodo com um grande teor de umidade, que é mecanicamente removido e disposto. A disposição do lodo será abordada separadamente. É possível se utilizar tanques de sedimentação cobertos que permitem realizar a sedimentação e a digestão anaeróbia do lodo no mesmo "container". Esse sistema apresenta uma vantagem decisiva sobre os tanques abertos, quando se dispõe de pequena área para a instalação da estação de tratamento.

A flotação é outro método de separação de sólidos-líquido. Ela é realizada com o auxílio de floculação e ar dissolvido.

A floculação (20,21) emprega a precipitação química para conseguir a separação dos sólidos. Ela pode ser utilizada para conseguir aumentar a taxa de sedimentação ou flotação, ou, como uma técnica à parte, de redução de sólidos sedimentáveis. O princípio do processo é a adição de produtos químicos orgânicos e/ou inorgânicos (dependendo das características do efluente) ao efluente. Os sólidos presentes no efluente colidem com os coagulantes e os dois se mantêm juntos por forças moleculares, aumentando assim o tamanho da partícula. As partículas gelatinosas resultantes, conhecidas por fiocos, são removidas por sedimentação ou flotação e, possivelmente, por uma filtração final.

TRATAMENTO SECUNDÁRIO

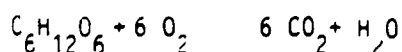
Dois métodos de tratamento usados para reduzir a carga orgânica de efluentes têxteis são a separação química e a oxidação biológica. A separação química utiliza a ação da absorção química para separar os contaminantes dissolvidos no efluente. Uma vantagem desse tipo de tratamento é a flexibilidade. Quando os produtos químicos utilizados no processamento têxtil são trocados, os coagulantes químicos também podem ser alterados para se adaptarem à alteração da composição do efluente. Os coagulantes comumente empregados para o efluente têxtil são, cal, ácido sulfúrico, cloreto férrico, cloreto de cálcio e sulfato de alumínio.

Por esse método de tratamento, o efluente é retido em uma lagoa ou tanque de sedimentação para a remoção dos sólidos. O efluente é, então, bombeado para tanques de mistura rápida, onde os coagulantes são adicionados através de dispositivos de controle automático. Essa mistura rápida promove a floculação. Após o floco ser removido por flotação ou por sedimentação, o líquido é descartado.

Esse método de tratamento para efluente municipal reduz a DBO em aproximadamente 45-50% e a cor em 80-90%. Os padrões mais altos necessários ao tratamento de efluente tornam o tratamento químico mais atraente, por remover poluentes não biodegradáveis com a mesma facilidade com que remove os biodegradáveis.

A oxidação biológica (23,24) utiliza microorganismos para degradar o material orgânico contido no efluente.

Há dois métodos de tratamento biológico, classificados em função da utilização de oxigênio - aeróbio e anaeróbio. O primeiro - aeróbio - emprega microorganismo que utilizam o oxigênio dissolvido no efluente para converter os resíduos e para se reproduzirem. Os microorganismos utilizam os resíduos contidos no efluente como alimento para se desenvolverem e se multiplicarem, da mesma forma como ocorre naturalmente nos rios. Os microorganismos utilizam o oxigênio e convertem os resíduos em dióxido de carbono e água; uma típica reação com carboidrato seria:



Um outro tipo de organismo é utilizado no processo de digestão anaeróbia. Esse processo ocorre na ausência de oxigênio livre. As bactérias convertem a maior parte dos resíduos em metano e dióxido de carbono; uma típica reação é:



Geralmente, a digestão aeróbia é a preferida por duas razões principais. Os produtos da digestão aeróbia se encontram em um estado de oxidação mais alto e a digestão anaeróbia pode produzir sulfeto de hidrogênio quando sulfatos ou sulfetos se encontram presentes no efluente, produzindo assim maus cheiros.

Nos processos biológicos, há quatro variáveis: carga de DBO, necessidade de oxigênio e temperatura e o grau de mistura. Além dessas, existem as variáveis ambientais: pH, nutrientes, sais, carga tóxica e variações no meio ambiente.

A DBO é a medida da quantidade de matéria orgânica contida no efluente, expressa em termos de mg de oxigênio necessário à decomposição aeróbia do efluente. As necessidades de oxigênio são dadas em Kg de oxigênio por Kg de material biodegradável (geralmente indicada como BDO). O oxigênio fornecido deve manter o nível de oxigênio dissolvido em 0,5 a 1,0 mg/l para assegurar condições aeróbias adequadas. Um nível de oxigênio dissolvido muito elevado pode provocar o crescimento de espécies indesejáveis (25).

Dependendo do tipo de processo biológico usado, as necessidades de temperatura variam. Para filtros biológicos é necessário uma temperatura de 29°C para se obter os melhores resultados; se a temperatura for diminuída ou elevada, a eficiência do processo é prejudicada. Esse fato dificulta a operação dos filtros biológicos nos períodos de Verão e de Inverno rigorosos. Alguns processos de lodo ativado têm sido capazes de operar eficientemente a 46°C (25). Nos processos de lodo ativado, o aumento da temperatura numa faixa de 10 a 46°C apresenta uma série de vantagens: a temperaturas mais elevadas, uma quantidade fixa de microorganismos pode reduzir mais DBO ao mesmo tempo; a floculação e a sedimentação são melhoradas; menos lodo é produzido para uma determinada carga de DBO; o lodo é menos sensível a cargas de DBO adversas (25). O grau de mistura de microorganismos e efluentes pode ter um efeito substancial sobre a performance do processo. Essas maiores eficiências são conseguidas através do uso mais efetivo do volume existente ou criação de maior área.

Como foi comentado anteriormente, o processo biológico não pode operar efetivamente a um pH acima de 10. A faixa de pH aceitável para os métodos biológicos é de 6,5 a 9,0; os microorganismos podem ser aclimatados para atuar bem em qualquer valor dentro desses limites, de forma a se ajustarem a ligeiras mudanças de pH durante a operação; entretanto, mudanças repentinas no pH podem retardar sua atividade (25). Filtros biológicos de alta taxa são capazes de operar a um pH igual a 10,5 e o processo de lodo ativado, a um pH igual a 10 no máximo (24); entretanto, se as bactérias já estiverem adaptadas, qualquer variação fora desses limites, diminuirá a eficiência do processo.

O crescimento biológico requer vários elementos químicos para sua

sustentação. Os principais elementos químicos necessários são: carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo, enxofre e traços de ferro, cálcio, magnésio, manganês, zinco, boro, potássio e cobalto. As águas naturais contêm esses elementos em quantidade suficiente, mas, algumas vezes, apresentam carência de nitrogênio e fósforo. Esses dois nutrientes podem ser adicionados de duas formas. Tem-se obtido bons resultados em estações municipais de tratamento, onde o efluente doméstico, rico em fósforo e nitrogênio é misturado ao efluente têxtil, carente desses dois elementos (26). Pode-se também usar um tanque de mistura para adição de fosfato de amônia para garantir a presença de quantidade suficiente de nutrientes na proporção de nitrogênio: carbono - 1:20 ou 1:10 e fósforo-carbono - 1:100 (14). Se a água industrial recebeu tratamento químico para redução de dureza e outros compostos inorgânicos (27,28) pode se tornar necessário a adição de outros elementos químicos ao efluente antes de enviá-lo ao tratamento secundário.

A presença de sal no efluente afeta a atividade biológica. Portanto, é desejável limitar as concentrações de sal para menos de 10.000 mg/l (27). Isso pode ser um problema em algumas operações de produção de corantes, mas não na maioria dos efluentes têxteis.

Íons metálicos, fenóis, sulfetos, cianetos e formaldeído podem ser tratados com êxito por culturas aclimatadas, desde que controladas cuidadosamente suas concentrações. Tal controle exige segregação e equalização do efluente antes do tratamento biológico. Fenóis e formaldeído são passíveis de tratamento em concentrações de até 1.000 mg/l; sulfetos e cianetos, em concentrações menores de 100 mg/l e íons metálicos não apresentam problemas em concentrações de até 10 mg/l (27). Embora essas concentrações representem concentrações de segurança, em muitos casos, efluentes complexos podem apresentar propriedades tóxicas atribuídas e efeitos sinérgicos de misturas específicas.

Embora os microorganismos se aclimatem rapidamente a diferentes ambientes, alterações repentinas de pH ou temperatura (mais que 3°C/h) são muito prejudiciais. Alterações anormais na carga de DBO podem causar efeitos adversos, se não houver oxigênio dissolvido suficiente para os momentos de cargas de pico.

PROCESSOS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO

Há quatro processos de tratamento biológico comumente empregados na indústria têxtil: lagoas de estabilização, lagoas aeradas, lodo ativado e filtros biológicos.

A lagoa de estabilização é uma lagoa com 90cm a 150cm de profundidade. O oxigênio necessário para o processo biológico é fornecido por algas e aeração de superfície. Para se obter altos valores de redução de DBO, as cargas de DBO devem ser mantidas baixas, normalmente 400 a 1.000 mg/m² por 30cm de profundidade por dia. A eficiência do processo varia com a estação do ano, pois a luz solar e a temperatura afetam o crescimento das algas. O efluente apresenta um alto teor de sólidos suspensos e requer sedimentação antes do descarte final, caso esse seja o tratamento final. O tempo de detenção do efluente em lagoas de estabilização varia de 4-20 dias, dependendo

das cargas de DBO (25). O primeiro fator a ser considerado quando se pretende adotar esse processo, é a disponibilidade de área suficientemente grande e em regiões pouco habitadas para construção das lagoas. Uma grande área é necessária para um grande volume de efluente e um local afastado de áreas muito habitadas pode ser necessário, devido a produção de maus cheiros durante o Verão.

As lagoas aeradas são similares às lagoas de estabilização, estando sua diferença nos dispositivos de aeração, que aumentam drasticamente a eficiência da lagoa. As lagoas aeradas apresentam uma profundidade de 4,5m a 5,0m e a área necessária é de aproximadamente 1/15 da área necessária às lagoas de estabilização. A quantidade de oxigênio necessária para um tratamento eficiente é de aproximadamente 1Kg por Kg de DBO. A lagoa aerada emprega microorganismos aeróbios e algas para realizar a oxidação biológica. O tempo de detenção para esse processo é de 3 a 10 dias, dependendo da quantidade de oxigênio transferido (14). Devido ao grande volume de efluente tratado, cargas de choque normalmente exercem muito menos efeito sobre o sistema.

LODO ATIVADO

O processo de lodo ativado envolve a mistura do efluente com lodo biologicamente ativo ou suspensão de microorganismos. Essa mistura é aerada com ar comprimido ou aeradores mecânicos, pelo período de tempo necessário e, então, transferido para outro tanque, onde o lodo ativado é separado por sedimentação. O lodo separado é disposto ou retornado ao processo, se necessário. O efluente tratado, relativamente claro e livre de odor, com baixa DBO, baixo conteúdo de bactérias e sólidos suspensos, é então descartado. A figura 1 é um diagrama esquemático de uma estação de tratamento de lodo ativado.

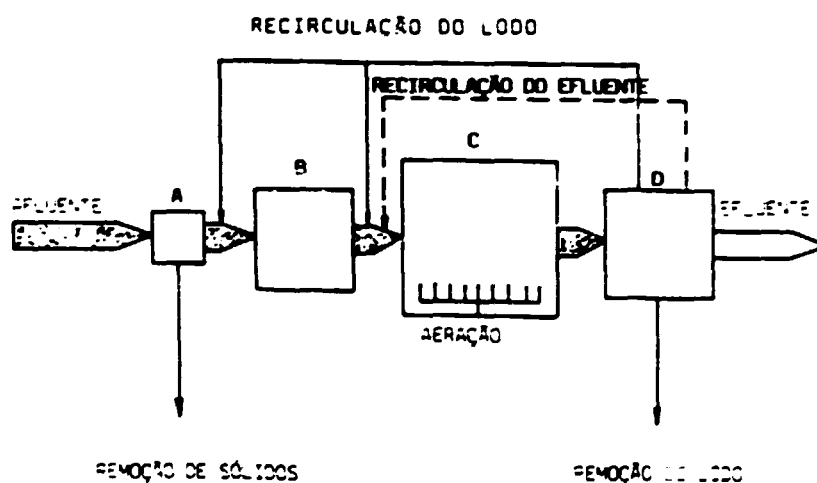


FIG. 1 - PLANTA DE LODO ATIVADO

A = TRATAMENTO PRELIMINAR
B = TRATAMENTO PRIMÁRIO

C = TANQUE DE AERAÇÃO
D = SEDIMENTAÇÃO SECUNDÁRIA

A aeração estendida da operação de lodo ativado, indicada para efluentes com baixas cargas de DBO, precisa de maiores quantidades de oxigênio, apresenta um tempo de detenção de 1 a 5 dias e produz menor quantidade de lodo. Os parâmetros de carga de DBO são de 0,03 a 1,8Kg de DBO por Kg de sólidos suspensos no líquido do tanque de aeração por dia. As necessidades de oxigênio são de 1,3 a 1,9Kg por Kg de DBO. A produção de lodo, que consiste de algumas partículas de resíduos e bactérias mortas, será de 0,1 a 0,2Kg por Kg de DBO removida ou mais, dependendo da quantidade de resíduo não biodegradável contido no lodo.

A concentração de sólidos suspensos no líquido do tanque de aeração normalmente mantido varia de 5.000 a 7.000 mg/l. Devido aos longos tempos de detenção e capacidade dos limites de sólidos suspensos no líquido do tanque de aeração, o processo é limitado pelo espaço disponível para os tanques. A redução final de DBO com esse método pode alcançar valores acima de 95%, sob condições ideais de operação.

Outro processo de lodo ativado, a técnica de lodo ativado convencional é a mais empregada para esgoto doméstico, devido à sua simplicidade. Ela promove uma boa taxa de remoção de DBO (90%). As cargas de DBO necessárias são de 0,3 a 1,2Kg de DBO por Kg de sólido suspenso no líquido do tanque de aeração por dia, as necessidades de oxigênio são de 0,7 a 1,2 Kg por Kg de DBO. O lodo produzido fica em torno de 0,35 a 0,55 Kg por Kg de DBO removida. A concentração de sólidos suspensos no líquido do tanque de aeração deve ser mantida na faixa de 2.000 a 4.000 mg/l e os tempos de detenção variam de 6 a 12 horas, dependendo da carga orgânica (25).

O terceiro processo de lodo ativado, chamado de alta taxa, usa o mínimo de espaço, requer o mínimo de oxigênio e apresenta o menor tempo de retenção. Em contra partida, produz a maior quantidade de lodo ativado e apresenta a menor taxa de redução da DBO (50-70%). As cargas de DBO variam de 1,5 a 4,0 Kg de DBO por Kg de sólido suspenso no líquido do tanque de aeração por dia; as necessidades de oxigênio variam de 0,45 a 0,65 Kg por Kg de DBO. O lodo produzido nesse processo é de aproximadamente 0,65 a 0,85Kg de sólidos por Kg de DBO removida. O tempo de detenção nesse processo é de aproximadamente 2 h. As concentrações de sólidos suspensos no líquido do tanque de aeração devem ser mantidas em aproximadamente 1.000 mg/l.

FILTROS BIOLÓGICOS

Os filtros biológicos (50) promovem o contato do efluente com microorganismos e ar pela percolação do líquido através de um leito de pedras ou material sintético. A Figura 2 descreve esquematicamente uma instalação de filtro biológico. O filtro normalmente é um tanque cilíndrico que contém o meio filtrante (pedra, carvão ou material sintético tal como plástico). O efluente é distribuído uniformemente sobre o leito filtrante através de um braço rotativo e percola o filtro, mantendo contato direto com uma película de bactérias que se aderem ao meio filtrante. Quando as bactérias morrem, perdem a aderência, sotando-se do meio filtrante e seguem então com o fluxo de efluente, sendo separadas do líquido no estágio de sedimentação secundária.

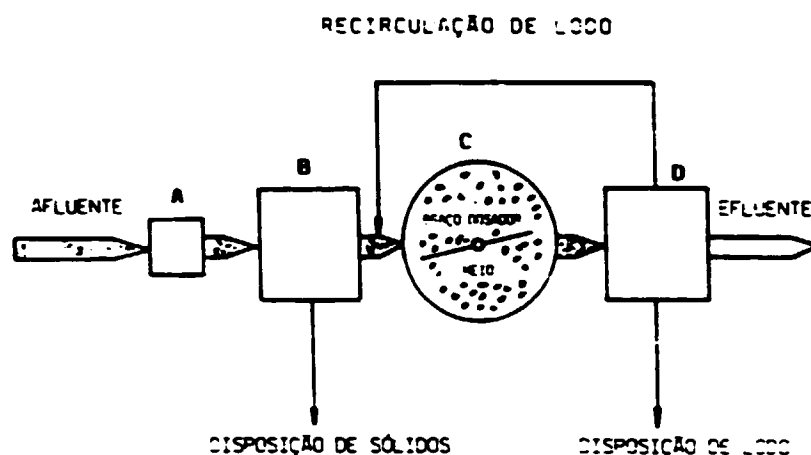


FIG. 2 - SISTEMA DE FILTRO BIOLÓGICO

A = TRATAMENTO PRELIMINAR

B = TRATAMENTO PRIMÁRIO

C = FILTRO BIOLÓGICO

D = SEDIMENTAÇÃO SECUNDÁRIA

Os filtros biológicos podem ser classificados pela composição do meio filtrante ou pelo método de aplicação do efluente no filtro.

O meio filtrante pode ser composto de pedras ou material sintético. Pedra, cinza de carvão e carvão são usados como meios filtrantes. A carga hidráulica normalmente aplicada é de 9 a 37 m³/m² por dia; as cargas de DBO são de 9 a 1.800 g/m³ de meio filtrante por dia. O meio filtrante forma uma camada de 3 a 15m de altura, exigindo grandes áreas para sedimentação e recirculação, numa proporção de 1:1 ou 10:1 de efluente bruto: efluente tratado (27).

Os meios filtrantes sintéticos apresentam diversas vantagens em relação às pedras. Elas são mais leves que as pedras e podem ser empilhadas a uma altura de 9m (29). A área por unidade de volume é controlada quando o meio filtrante é fabricado, de forma que pode-se obter maior espaço para a formação de película de bactérias. A carga hidráulica pode chegar a 180 a 370 m³/m² por dia e as cargas de DBO, 3 a 6 Kg/m³ por dia.

A taxa de alimentação do efluente ao meio filtrante pode ser padrão ou de alta taxa. A diferença é que a taxa de alimentação padrão é intermitente, utilizando períodos de 5 minutos ou menos; enquanto que a alimentação de alta taxa é contínua, através de um sistema de recirculação variável. O filtro de taxa padrão trabalha com uma carga hidráulica de 3,7 m³ por dia por m², cargas orgânicas de 1,7g de DBO por m² por 30cm de altura e liberação intermitente de bactérias mortas. O lodo do processo é negro, altamente oxidado, contendo pequenas partículas e o efluente é altamente nitrificado com menos de 20mg de DBO por litro. O efluente normalmente é descartado após uma passagem pelo filtro. A carga hidráulica, carga orgânica e taxa de descarte do lodo do filtro de alta taxa, são, respectivamente, 9 -

28m³ por dia por m², 3g de DBO por m² por 30cm de altura e é contínuo. O lodo produzido no tanque de sedimentação secundária é marrom e não totalmente oxidado; o efluente não é totalmente nitrificado e apresenta uma DBO de 30mg/l ou mais (30). A recirculação do efluente torna o efluente final tão bom quanto o índice padrão; entretanto a eficiência é bastante diminuída.

O termo filtro biológico de passagem única refere-se à passagem do efluente através de um filtro biológico, seguindo então para um tanque de sedimentação secundária. O tratamento em dois estágios refere-se à passagem do efluente da sedimentação primária através de dois filtros biológicos em série, antes do estágio de sedimentação secundária. Com o tratamento de estágio único, a remoção de DBO é de aproximadamente 50-75%. O método de dois estágios apresenta uma taxa de remoção de DBO mais alta (25) e é mais caro que o método de lodo ativado (14).

TRATAMENTO ANAERÓBIO

O tratamento anaeróbio tem recebido maior atenção nos últimos anos e tem sido estudada a viabilidade de aplicação para efluentes têxteis (49). Os resultados indicam a possibilidade de remoção de 50 a 90% de DQO com um filtro anaeróbio de fluxo ascendente (49). Como esse sistema utiliza pouca energia e gera gás metano, ele merece consideração; entretanto não se tem conhecimento de nenhum sistema desse tipo em operação nos Estados Unidos até o presente momento.

DISPOSIÇÃO DO LODO

As técnicas de tratamento biológico produzem lodo que deve ser descartado. O tratamento mais simples para desidratação do lodo emprega leitos de secagem ou filtros de areia sobre os quais o lodo é disposto; as partículas de areia retêm o material sólido, enquanto permitem a drenagem do líquido. Os resíduos sólidos podem ser incinerados, utilizados como fertilizantes, como aterro sanitário ou enterrados (30, 31). Deve-se tomar cuidado para evitar problemas de maus cheiros em épocas quentes. Um segundo método de disposição do lodo é a digestão por bactérias anaeróbias (32, 33, 34). Os subprodutos desse método incluem o seguinte: humus, usado como fertilizante; água removida do lodo, que é recirculada para o sistema secundário para assegurar sua purificação antes do descarte e gases. Uma pesquisa sugere o uso desses gases como combustível.

Um terceiro método é a filtração à vácuo (35, 36). Nesse processo, o lodo é passado por uma bomba de vácuo que remove o conteúdo sólido e drena a água. Finalmente, o lodo pode ser enviado para um incinerador, onde o conteúdo de sólidos do lodo é queimado (37, 38, 39).

Quando o efluente contém quantidades significantes de produtos químicos não biodegradáveis e polímeros (40), pode ser mais indicado a aplicação de métodos químicos para o tratamento do efluente.

TRATAMENTO TERCIÁRIO

Atualmente, a maioria dos métodos de tratamento terciário de efluentes encontra-se em fase experimental em estações de tratamento de efluentes industriais e domésticos. Entretanto, esses métodos precisam ser discutidos para que no futuro, os padrões legais referentes a qualidade de descargas de efluentes sejam superiores aos alcançados pelos métodos de tratamento convencionais.

Os processos de tratamento terciário podem ser classificados em dois grandes grupos: os que removem materiais orgânicos e os que removem materiais inorgânicos do efluente. São exemplos de processos de remoção de material orgânico: absorção, separação de espuma e oxidação química.

Os processos de remoção de material inorgânico incluem: denitrificação anaeróbia, coleta de algas, troca iônica, eletrodialise, extração por solvente, osmose reversa, congelamento, liberação de amônia e destilação. Alguns desses processos, suas eficiências de remoção e custos estimados são mostrados na tabela 1.

TABELA 1

Processos de tratamento terciário: eficiência de remoção e custos estimados

Processo	Substância removida	Eficiência (%)	Custo (US\$/1.000 gal)
Denitrificação anaeróbia	nitrato-nitrogênio	30-95	0,15
Coleta de algas	nitrato-nitrogênio	50-90	0,20
Liberação de amônia	amônia-nitrogênio	80-95	0,15
Troca iônica	nitrogênio - fósforo	30-92	1,50
Eletrodialise	sólidos dissolvidos	10-40	3,50
Adsorção por carbono	material orgânico	90-98	4,00
Osmose reversa	sól.dissolvidos	65-95	5,00
Destilação	sól.dissolvidos	90-98	5,00
Separação de espuma	agentes surfactantes	10-20	0,50

Fonte de referência: 40

O carvão adsorve muito compostos orgânicos da água. Os requisitos necessários para adsorção são uma solubilidade moderada em água e peso molecular moderado. Muitas moléculas pequenas e polímeros de alto peso molecular não podem, atualmente, serem removidos do efluente economicamente com carvão. Entretanto, a versatilidade desse substrato para tratamento de muitos tipos diferentes de resíduos industriais prevê uma grande aplicação do carvão no futuro. A regeneração do carvão pode ser realizada com vapor ou por incineração (41).

A separação de espuma (22, 42, 43) pode ser usada quando agentes surfactantes encontram-se presentes no efluente. Nesse processo, o ar comprimido é introduzido no efluente, produzindo uma espuma rica em agentes surfactantes. A remoção de espuma, normalmente por métodos mecânicos, proporciona uma remoção de 85% de detergentes sintéticos (42).

A oxidação química (44,45) diminui a DBO do efluente. Assim a DBO residual do efluente não consome todo o conteúdo de oxigênio dissolvido do curso de água. Os produtos químicos usados são ozônio, peróxido de hidrogênio, perclorato de manganês, cloro, hipoclorito de sódio, persulfato de potássio e peróxido de sódio.

Resinas de troca iônica podem ser adicionadas ao efluente para remover íons inorgânicos tais como sais, nitratos e fosfatos. Os cátions são trocados por íons hidrogênio e os ânions são trocados por íons hidroxila.

CONCLUSÃO

O uso de fibras artificiais, polímeros e acabamentos pela indústria têxtil está crescendo rapidamente. Uma vez que muitos desses produtos são resistentes a degradação biológica, um estudo cuidadoso para a sua remoção do efluente deve ser realizado, de forma a se escolher métodos de tratamento efetivos. Regulamentações estaduais e federais sobre lançamento de efluentes ficarão mais rigorosas na proporção do crescimento da comunidade industrial e as fontes de água forem reutilizadas mais frequentemente. Enquanto a mistura de efluente doméstico com efluente industrial era um sucesso no passado (47,48), o aumento do efluente industrial mais inerte pode impedir esse sucesso no futuro.

Para avaliar a eficiência de qualquer estação de tratamento de efluente, uma análise de carbono total deve ser realizada sobre o afluente e o efluente. Se essa análise for associada a outras, tais como sólidos dissolvidos, DBO, pH, etc., uma descrição mais completa da qualidade do efluente será obtida.

Devido a variações no efluente têxtil, de processo para processo, de hora para hora, torna-se necessário algum tipo de tratamento preliminar na maioria das estações de tratamento de efluentes. Isso é especialmente verdade onde o efluente é descarregado para um esgoto municipal para evitar cargas de choque na estação de tratamento. A neutralização e a equalização têm provado ser benéficas se a empresa tem sua própria estação de tratamento biológico.

A sedimentação primária também é vantajosa para o tratamento biológico, não apenas por remover sólidos que demandariam muito tempo para serem digeridos pelas bactérias, mas também porque evita a obstrução das linhas de drenagem e transbordamentos dos tanques. A sedimentação e o gradeamento também podem apresentar vantagens econômicas no caso de fibras que podem ser recuperadas.

No tratamento secundário de esgoto municipal, os processos biológicos são mais eficientes e de menor custo que os métodos de precipitação química. Para o uso de filtros biológicos ou lodo ativado, é difícil determinar qual o critério que deve ser usado para a escolha de um dos dois. Os filtros biológicos exigem mais área do que os tanques de lodo ativado e apresentam maior custo de construção, mas geralmente apresentam maior facilidade de operação, apresentam menor custo de operação (o fluxo é por gravidade e não por bombeamento) e são mais resistentes a cargas de choque. O processo de lodo ativado geralmente é mais econômico para remoções de DBO acima de 90%. O tratamento químico pode ser mais econômico para remoção de cargas orgânicas quando o efluente é apenas parcialmente biodegradável.

No futuro, efluentes de diferentes operações de beneficiamento têxtil terão que ser separados para recuperar produtos químicos ou no caso de compostos tóxicos, para tratamento específico quando esses compostos não são biodegradáveis. Dessa forma, as indústrias terão maior liberdade na escolha de produtos químicos, em função dos resultados da produção e não, do impacto ambiental causado por esses produtos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Souther, R. H., American Dyestuff Reporter, vol. 58, 1969, nº 15, p.13.
Groff, K. A. and Kim, B. R., "Textile Waste", J. Water Pollution Control Federation, 60, 884 (1988).
- (2) American Dyestuff Reporter, vol. 55, 1966, p.685.
- (3) Vanttall, C. E., Safranko, J. and Stenger, J. A., Analytical Chemistry, vol. 35, 1963, p.315.
- (4) Schenk, W. and Bassing, D., "Ecological surfactant systems for the textile industry", Melliand Textilberichte/International Textile Reporter, 69, p.343 (1988).
- (5) Huddleston, R. L., American Dyestuff Reporter, vol.55, 1966. p.52.
- (6) LeBlanc, R. B., American Dyestuff Reporter, vol. 56, 1967, p.623.
- (7) White, W. A. S., Rose, H. J. and Crowder, N. F., Journal of the Textile Institute, vol.50, 1959, p.274.
- (8) Hofstetter, H. H., Melliand Textilberichte, vol. 50, 1969, p.321.
- (9) Johnston, L. and Wett, T. W., "Filtration system slashes caustic use and minimizes waste stream", Chemical Processing, 36, march (1989).
- (10) Textile Industries, vol. 133, 1969, nº 3, p.138.
- (11) Shaul, G. M. et alli, "Biological wastewater treatment of azo dyes", 196th American Chemical Society Conference, Abstracts of papers, Environmental Div., 70 (1988).
- (12) Parsons, W. N., Modern Textiles, vol. 48, 1967, nº 12, p.52.
- (13) Elliot, R. D., "An analysis of textile water wastes and a procedural format for solving effluent problems", M. S. Thesis, North Carolina State School of Textile, Raleigh, N.C., 1968.
- (14) Souther, R. H., "Textiles", Industrial Waste Water Control, (C. P. Gurham, Ed.), Academic Press, New York, 1965.
Kemmer, F. N. and Odland, K., "Chemical treatment", Chem. Eng., 75 (10), 83-88 (1968).

- (15) Water Pollution Control Federation, "Sewage treatment plant design", Manual of Practice, n^o 8, Publ. of the Dept. of the Interior, Washington, D.C., 1959.
- (16) Gilbert, J. J., "Screening-vibrating and rotary", Proc. Eng. Inst. on Industrial Wastes, Univ. of Wisconsin, 1960.
- (17) Katz, W. J. and Geinopolos, A., "Primary treatment", Chem. Eng., 75 (10), 78-82 (1968).
- (18) Shannon, P. T. and Tory, E. M., "Settling of slurrier", Ind. and Eng. Chem., 57 (2), 19, 1965; Rich, L. G., "Unit operations of sanitary engineering", John Wiley and Sons, New York, 1961.
- (19) Fitch, B., "Why particles separate in sedimentation processes", Ind. and Eng. Chem., 54 (10), 44 (1962).
- (20) Chase, E. S., "Flotation treatment of sewage and industrial wastes", Sew. and Indust. Wastes, 30 (6), 783 (1958).
- (21) Hudson, H. E., Jr., "Physical aspects of flocculation", Jour. Am. Water Works Assn., 57 (7), 885-892, 1965; Haney, P. D., "Principles of flocculation related to water treatment", Proc. ASCE Jour. Hydraulics Div., Paper n^o 1036, 1-11.
- (22) Sando, Y. and Ishidoshiro, H., "Froth flotation of textile processing wastewaters", U.S. US4772398 A (1988).
- (23) Chambers, B. and Jones, G. L., "Optimization and uprating of activated sludge plants by efficient process design", Water Science Technology (G.B.), 20, 121 (1988).
- (24) McCarty, P. L., ("thermodynamics of biological synthesis and growth") "Advances in water pollution research", vol. II, Pergamon Press, London, 1965; Eckenfelder, W. W. and O'Connor, D. J., "Biological waste treatment", Pergamon Press, New York, 1961.
- (25) Lesperance, T. W., "Biological treatment", Chem. Eng., 75 (10), 89-94 (1968).
- (26) Jones, E. L., Alspaugh, T. C. and Stokes, H. B. "aerobic treatment of textile mill wastes", Jour. Water Pollution Control Federation, 34 (5), 495-512 (1962).

- (27) Boby, W. N. T. and Solt, G. S., "Water treatment data: a handbook for chemists and engineers in industry", Hutchinson and Co., London, 1965.
- (28) Rub, F., "Preparation of process water for the textile industry", *Chemiefasern*, 19 (1), 58-61 (1969).
- (29) Chipperfield, P. N. J., "Performance of plastic filter media in industrial and domestic waste treatment", *Jour. Water Pollution Control Federation*, 39 (11), 1860 (1967).
- (30) Warner, D. L., "Deep industrial wastes injection wells in the United States", *Publ. of the United States Dept. of the Interior*, Washington, D.C., 1966.
- Talbott, J. S. and Beardon, P., "The deep well method of industrial waste disposal", *Chem. Eng. Prog.*, 60 (1), 49-52 (1964).
- (31) Rickles, R., "Pollution control", *Chemical Process Monograph Number 10*, Noyes Development Corp., Pearl River, N.Y., 1965.
- (32) Heukelekian, H., ("Basic principles of sludge digestion") (*Biological treatment of sewage and industrial wastes*", vol. I, J. McCabe, Jr. and W. W. Eckenfelder, Eds., Reinhold Publ. Co., New York, 1958.
- (33) Pohland, F. G., "General review of literature on anaerobic sewage sludge digestion", *Proc. 17th Indust. Waste Conf.*, vol. 110. *Purdue Univ. Eng. Ext. Div.* (1962).
- (34) *Water Pollution Control Federation*, "Anaerobic sludge digestion", *Manual of Practice no 16* *Pub. of the Dept. of the Interior*, Washington, D.C., 1968.
- (35) Flood, J. E. et alii, "Filtration practice today", *Chem. Eng.*, 73 (13), 163 (1966).
- (36) Tiller, F. M., "Filtration theory today", *Chem. Eng.*, 73 (13), 151 (1966).
- (37) Lowe, P., "Incineration of sewage sludge - a reappraisal", *Journal of the Institute of Water and Environmental Management (G.B.)*, 2, 416 (1968).
- (38) Jonn, W. H., Ott, R. and Albertson, O. E., "Fluid and sewage sludge combustion", *Water Works and Wastes Eng.*, 2 (9), 90 (1965).

- (39) Sebastian, F. P. Cardinal, P. J., "Solid waste disposal", Chem. Eng., 75 (10), 112-117 (1968).
- (40) Zimmerman, F. J., "New waste disposal process", Chem. Eng., 65 (17), 117-120 (1968).
- (41) Rao, B. V. and Sostry, C. A., "Removal of dye from water and wastewater by adsorption", Indian Journal of Environmental Protection, 7, 363 (1988).
- (42) Grieves, R. B., "The foam separation process", Brit. Chem. Eng., 13 (1), 77 (1968).
- (43) Lemlick, R., "Absorptive bubble separation methods - foam fractionation and allies techniques", Ind. and Eng. Chem., 60 (10), 16 (1968).
- (44) United States Public Health Service, "An industrial waste guide to the cotton textile industry", USPHS Pub. n^o 677, U.S. Govt. Printing Office, Washington, D.C., 1959.
- (45) Eliassen, R. and Tchobanoglous, G., "Advanced treatment", Chem. Eng., 75 (22), 95-99 (1968).
- (46) Eliassen, R. and Bennet, G. E., "Anion exchange and filtration techniques for waste water renovation", Jour. Water Pollution Control Federation, 39 (10), R 82 (1964).
- (47) Petru, A., Water Waste Treatment. vol. 11, 1968, p.532.
- (48) Bode, H., "Anaerobic - aerobic treatment of industrial wastewater", Water Science and Technology (G.B.), 20, 189 (1988).
- (49) Athanasopoulos, N. and Karaclimitris, T., "Effect of media design on the performance of cotton fabric desizing and scouring wastewater treatment in upflow anaerobic filters", Resources, Conservation and Recycling, 1, 123 (1988).
- (50) Parker, D. S., "Wastewater technology innovation for the year 2.000", Journal of Environmental Engineering, Am. Soc. Civ. Eng., 114, 487 (1988).