



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> 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](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)

RESTRICTED

DP/ID/SER.A/1274  
8 November 1989  
ORIGINAL: ENGLISH /  
PORTUGUESE

17848

SUPPORT TO SENAI-CETIQT APPLIED RESEARCH UNIT

DP/BRA/87/033/11-01

BRAZIL

Technical report: Second mission of the CTA\*

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 R. Hirschler  
Chief Technical Adviser

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

United Nations Industrial Development Organization  
Vienna

---

\*  
This document has not been edited.

## ABSTRACT

The purpose of the second mission of the CTA (25 June to 22 August 1989) was to review and if necessary revise project activities, participate at a conference, survey the practice of computerized colour matching in the Brazilian textile industry, and to give seminars/training courses at selected locations.

It is recommended, that

- return missions for the consultants be organized according to the revised Project Activities;
- immediately after delivery the AHIBA Turbocolor laboratory dyeing machine be installed, and calibration dyeings for colour matching started;
- having collected sufficient experience with the Turbocolor a second laboratory dyeing machine be also selected for substrates which cannot be dyed on the Turbocolor machine;
- a computer be purchased for the colour matching system donated to CETIQT by Mathis Ltda;
- a DATACOLOR 3890 / OSIRIS computerized colour matching system be purchased for CETIQT through the pending BIRD (World Bank) project with UNIDO as executing agency; technical assistance in installation etc. to be provided within the frame of the present project;
- prior to the delivery of the Mathis CCM system the CTA visit OPTRONIK to test the spectrophotometer, and to discuss the rectification of technical problems with the systems already installed in Brazil;
- means of further help (direct support) be sought for the textile factories starting to use computerized colour matching systems;
- co-operation be improved between CETIQT and the SENAI schools in Santa Catarina.

TABLE OF CONTENTS

I PURPOSE OF MISSION

II ACTIVITIES AND OUTPUT

A. Project Activities

B. The V CNTTC

C. Factory visits; industrial practice of computerized colour matching

D. Training courses

RECOMMENDATIONS

ANNEXES

1. Details of factory visits

2. Revised Project Activities

3. CNTTC papers:

3.1 The Future of the Textile Dyeing and Finishing Industry in the Context of Technical Innovations

3.2 Trends in Colour Instrumentation for the Textile Industry

4. Lecture notes for the training course "Colour Measurement and Colour Match Prediction in the Textile Industry"

I PURPOSE OF MISSION

The purpose of the second mission of the CTA was to revise the project activities; discuss with the National Project Director and up-date the fielding schedule of consultants; participate and give two papers at the V CNTTC; review the current practice of colour measurement and computerized colour matching in the Brazilian textile industry; give two 20-hours seminars in colour measurement and computerized colour matching.

## II ACTIVITIES AND OUTPUT

The CTA performed the activities formulated as the purpose of the mission. The outputs of the mission are the revised Project Activities, the placing of the order for the laboratory dyeing machine and the computer for the CCM system (Mathis) and the second stage of training professionals of the Textile Dyeing and Finishing Unit of CETIQT (with 2 conference papers published in Portuguese, and lecture notes published in English).

### A. Review and revision of Project Activities

Project activities have been reviewed and discussed in detail with the National Project Director. The following minor changes - with no change in the project budget - are recommended.

#### 1. Consultants

All posts with the exception of 11-09 (Pattern Making) have been filled, and the first missions completed. For the post 11-09 other means have been found by CETIQT, so it is recommended that this post be deleted from the project, and the 3.0 man-months be reallocated to posts 11-01, 11-10 and 11-11.

The new schedule for the fielding of consultants would be the following:

	1989	1990
11-01 CTA	Oct/Dec (1.5 m)	April (1 m) Nov. (1 m)
11-06 Garment Costing		May/June (1.5 m)
11-07 Knitting		July (1.0 m)
11-08 Garment Manuf.		Aug/Sept (1.5 m)
11-09 Pattern Making	D E L E T E D	
11-10 Effluent Treatment		March/April (2.0 m) Sept/Oct (2.0 m)
11-11 Dyeing and Finishing	Sept/Oct (1.5 m)	Aug/Sept (2.5 m)

The exact dates in 1990 are tentative, depending on the availability of the consultants.

## 2. Equipment

All the equipment for the effluent laboratory ordered during the previous mission of the CTA (see first Report) has duly arrived and been installed at CETIQT. Some more equipment may be requested during the next mission of the consultant in Effluent Treatment.

Trials were made by the CTA (between the first and second missions) at the manufacturer's locations with the AHIBA Turbocolor TM 6 laboratory dyeing machine, being the least expensive of the 3 machines complying with the specifications. The Turbocolor proved to be a versatile dyeing machine (limited only in dyeing some densely woven filament fabrics), well suited to do most of the preparatory dyeings for colour matching. Details of the necessary configuration have been cleared with the manufacturer as well as with CETIQT professors, and a Requisition for Equipment forwarded to UNIDO Purchase Section. Delivery is expected for October 1989.

When some experience will already have been gained with this machine, another one should also be selected for the substrates which cannot be dyed on the Turbocolor.

Since the previous mission of the CTA (November 1989) more than 10 textile companies have purchased computerized colour matching (CCM) systems from Mathis Ltda (Sao Paulo) with software from BASF. In view of this it is important for CETIQT to have such a system for education and applied research, even though the test results with five of the systems installed (see later) are not satisfactory.

Mathis Ltda has donated a spectrophotometer (with the BASF software) to CETIQT, only a computer (IBM AT compatible) is needed to make the system operational. In agreement with the National Project Director detailed specifications have been prepared, and a Requisition for Purchase is submitted with this report.

Mathis has recommended, that the computer be sent to the manufacturer of the spectrophotometer (Optronik, West Berlin) and the full system be assembled and fully tested there prior to shipping it to Brazil. They would also make it possible for the CTA to run a series of tests with the newly designed instrument at the manufacturer's location, where there would also be possibility to discuss the technical problems related to the systems already installed in Brazilian textile factories.

Since this system is not upto the current state-of-the-art as regards technical performance but also the sophistication of the software, the purchase of an advanced (imported) system is still recommended. Quotations have been received from four of the major manufacturers of CCM systems (ACS, DATACOLOR, DIANO/MILTON ROY and MACBETH) and technical specifications compared to the requirements. All

four systems satisfied the minimum required (see details in the previous Report), with DATACOLOR having the most sophisticated software package (OSIRIS). In addition to subtle differences in data handling, dye data preparation and formulation, the main advantages of the DATACOLOR system as compared to those of DIANO/MILTON ROY and MACBETH are the unique software features such as a special colour tolerance formula for quality control; recipe formulation for fibre blends, and hardware and software for computer-controlled weighing of dyestuffs.

The prices quoted (in US\$) were:

ACS	83.500.00
DATACOLOR	47.146.00
DIANO/MILTON ROY	47.800.00
MACBETH	33.200.00

In view of the technical advantages, and also the fact that two of the major textile companies in Brazil (Artex and Hering) have DATACOLOR systems, the DATACOLOR 3890 spectrophotometer with OSIRIS software is the recommended system for CETIQT.

There is no provision for this equipment in the present project, but it may be provided through a new BIRD (World Bank) project. In agreement with the counterparts, it is recommended that UNIDO be the Executing Agency for this part of the BIRD project, and the CCM system purchased through UNIDO. Technical assistance in the preparation work (calibration dyeings etc.), installation and introduction to practical application can be provided in the frame of the present project in accordance with the Project Document and the Job Description of the CTA.



B. The V CNNTC (5th National Seminar of  
Textile and Apparel Technology

The V CNNTC held at CETIQT between the 18th and 21st July 1989 was a major event of the Brazilian textile industry, with over 1.000 participants from all segments of the industry. In addition to the opening panel three of the UNIDO consultants of this project gave conference papers to audiences of around 200.

The transcript of the panel paper on "The Future of the Textile Dyeing and Finishing Industry in the Context of Technical Innovations" (prepared for overhead projection sheets in Portuguese) is attached as ANNEX 3.1, and the full text of the conference paper on "Trends in Colour Instrumentation for the Textile Industry" is attached as ANNEX 3.2.

C. Factory visits: the practice of CCM in the  
Brazilian textile industry

Dates of factory visits as well as persons met are given in ANNEX 1.

The purpose of the 2-day visit to DIANO/Milton Roy (Oostende, Belgium) on the way to Brazil was to get first-hand information on the range of colour measuring spectrophotometers manufactured by the company, one of which was quoted for CETIQT. DIANO/Milton Roy manufacture a wide selection of instruments, detailed technical evaluation has been incorporated into the conference paper on colour instrumentation (see ANNEX 3.2). The company is not yet represented in Brazil, and cannot offer direct application support for the time being.

The visits in Santa Catarina (Brusque and Blumenau) followed the pattern designed for this project: half-day visits in the morning to companies participating in the half-day afternoon seminars, the central topic of the visits being the same as that of the seminars: colour measurement and colour matching.

The CTA has also visited both Brazilian manufacturers of CCM systems: COMEXIM and MATHIS. During the brief time available (1 day each) the spectrophotometers of both have been tested and the recipe formulation programs tried.

COMEXIM now offers two colour matching programs: an improved version of the previous one by Davidson Collegues (called the Color Mentor) and the OPTIMATCH of MACBETH. Both of these are more advanced than the previous COMEXIM softwares (such as the version available at LAFITE in Brusque), but they still do not reach the level - in terms of flexibility, convenience of usage and special applications - of the best CCM packages available (such as that of DATACOLOR or ICS-TEXICON).

MATHIS Ltda are relative newcomers to this field, and need a lot more experience, but their efforts in trying to proliferate CCM in the textile industry are remarkable. This is reflected in their sales statistics: more than 10 systems sold in 6 months (as opposed to only 1 or 2 COMEXIM systems installed in textile factories in the past several years). Part of this effort has been the donation of a spectrophotometer and software package to CETIQT.

In six of the factories visited (Hering, Karsten, Linhas Círculo, Mathis, Quimisa and Sulfabril) the repeatability, reproducibility and accuracy of the spectrophotometer were tested by measuring the 12 ceramic colour standards of the British Ceramic Research Association, 10 times each. The results are summarized in the table below.

For comparison the values usually regarded as maximum tolerated are also given as well as results with one of the most highly advanced systems (ICS-Texicon), and results previously obtained with two COMEXIM systems.

Data are expressed in the internationally excepted DE\* (CIELAB) colour difference units, where accuracy is the DE\* compared to nominal "standard" values; reproducibility is the colour difference between instruments of the same design, and repeatability is the spread of values for 10 repeated measurements on the same instrument.

	ACCURACY	REPRODUCI- BILITY	REPEATA- BILITY
Max. tolerated	0.50	0.20	0.05
ICS-Texicon (DUNASILK)	0.32	0.09	0.02
COMEXIM (1)	0.61	0.54	0.03
COMEXIM (2)	0.55	0.24	0.04
DATACOLOR	0.63	0.42	0.02
MATHIS (1)	1.00	0.78	0.05
MATHIS (2)	0.83	0.48	0.06
MATHIS (3)	1.31	0.52	0.05
MATHIS (4)	1.25	0.30	0.16
MATHIS (5)	1.05	0.78	0.06

The short term repeatability values for the COMEXIM and DATACOLOR instruments are better than the limit, for the MATHIS instruments they are at or slightly above the limit. In the case of the MATHIS (4) instrument the values are significantly higher, indicating some malfunction of the spectrophotometer.

Long term (1 year) repeatability data, which are - together with the short-term data - the most important characteristics of colour measuring instruments, will have to be obtained by measuring the same colour standards one year later. Regular checking of instrument performance is essential for reliable work, and provisions will have to be made by every user to be able to do it.

Reproducibility is important only if results of several instruments (of identical design) are to be compared, such as those between different units within the same organization, or between buyer and seller. The marked difference between the ICS-Texicon and the COMEXIM systems (both using the MACBETH spectrophotometer) shows the importance of the software in improving the performance of the instrument itself. The rather poor reproducibility results for all the instruments (as compared to specifications or to the DUNASILK instrument) indicate serious problems with calibration and standardization procedures.

Indeed, the factory visits have shown, that of the five MATHIS instruments M(1) and M(4) had no cover glass on the sample port (which may introduce unwanted specular reflection, and influence the measured values) while the other three did; M(2) and M(5) used "absolute white" as standard, while the other three used Barium Sulphate (resulting in 1 to 2% difference in reflectance values).

Absolute accuracy is a rather arbitrary term in colour measurement, and in industrial practice it is much less important than repeatability or reproducibility. However, the very high values obtained with the MATHIS instruments indicate problems inherent in instrument design.

Some of the above problems have already been discussed with Mr. Paul Jaussi of MATHIS Ltda, who indicated that the instrument has recently been redesigned, and the improved version will be delivered as of this October. The manufacturer of the spectrophotometer (Optronik) is also willing to let the new instrument be tested at their location and also to discuss the technical problems.

In view of the serious problems on the one hand and the recently greatly increased importance of MATHIS systems in the Brazilian textile industry, it is recommended, that

- the CTA visit OPTRONIK for 2-3 days prior to the delivery of the CCM system to C:TIQT, testing the new instrument at the manufacturer's location and also discussing the ways and means of rectifying the technical problems with the systems already installed in Brazil;
- further help (direct support) be given to the textile factories in Brazil in introducing uniform calibration and standardization procedures in colour measurement and colour matching.

COMEXIM, MATHIS and the textile factories visited are going to get a more detailed individual analysis of their respective systems by the next mission of the CTA.

#### D. Training courses, seminars

Two training courses were organized on Colour Measurement and Colour Match Prediction in the Textile Industry, one in Brusque and the other one in Blumenau. In both cases the project pattern was followed: the 5 \* 4-hour seminars were held between 2 to 6 p.m. from Monday to Friday.

The timing of the Brusque seminars turned out to be utterly wrong. Not only the director and all permanent staff of the LAFITE school were on holiday, but also the professional responsible for CCM at the school (primarily for whose sake the first such training course was organized there) as well as most of the potential audience.

There were thus only 6 (sometimes 4) participants. The provisional staff at the school did their utmost to help in all possible ways so that the participants (few as they were) wouldn't notice the lack of preparation. Their help prevented the course to be a complete disaster, but in the future preparation mistakes (due to inadequate communication between CETIQT and LAFITE) like this ought to be definitely avoided.

In Blumenau the course was attended by more than 20 participants. Circumstances here were ideal (lecture room, technical facilities etc.) and the course was well received. There were lots of questions all through, and discussions, questions and consultation continued every day well beyond the programmed seminar time (upto 7.30 or even 8 p.m.) showing that the theme of the course was highly topical, and the right audience have been invited.

The language of the seminars was English, with full consecutive translation performed at reassuringly high level by the CETIQT counterpart (Mr. Kelson Araújo). A copy of the lecture notes is attached as ANNEX 4.

#### RECOMMENDATIONS

1. Return missions for the consultants should be organized according to the revised Project Activities.

2. Immediately after delivery the AHIBA Turbocolor TM 6 laboratory dyeing machine should be installed, and calibration dyeings for CCM commence.
3. After collecting sufficient experience with the Turbocolor a second laboratory dyeing machine should also be selected for those substrates which cannot be dyed on the Turbocolor.
4. A computer according to the specifications of Mathis is recommended to be purchased for CETIQT to make the CCM system (based on the spectrophotometer and software donated by Mathis) operational. Requisition for Equipment is submitted with this report.
5. It is recommended that a DATACOLOR 3890 - based CCM system with OSIRIS software be purchased for CETIQT through the BIRD (World Bank) project, with UNIDO as executing agency. Technical assistance in installation etc. is to be provided within the frame of the present project.
6. It is recommended that prior to the delivery of the MATHIS CCM system the CTA make a brief (2-3 days) visit to OPTRONIK in order to test the spectrophotometer and discuss the pending technical problems.
7. It is recommended that further help (direct support) be sought for the textile factories starting to use CCM systems.
8. Much better co-ordination and co-operation is needed between CETIQT and the SENAI schools in Santa Catarina particularly in the preparation of lectures, seminars, training courses and factory visits.

Details of factory visits

- A. DIANO/Milton Roy (27-28 June 1989)  
Theo Muller, European Manager, Colour Products
- B. COMEXIM (11 July 1989)  
Carlos C. Russo, Director
- C. MATHIS Ltda. (12 July 1989)  
Paul Jaussi, Director
- D. Cia Tecidos Santanense (13-14 July 1989)  
José Murilo Moreira, Chefe Divisao de Acabamento
- E. Buettner S/A (24 July 1989)  
Gerson Petruschky
- F. Quimisa (26 July 1989)  
Raul Dias Júnior
- G. Cia Industrial Schlösser S/A (27 July 1989)  
Leoberto de Souza, Eng. Químico
- H. Industrias Renaux S/A (28 July 1989)
- I. /Cia Hering (31 July 1989)  
Paulo Jaci Pereira  
Loruhama Bogнар
- J. Mendes Engenharia Ltda./ Malhas Soft S/A (01 August 1989)  
Jarbas Mendes, Director Presidente
- K. Sulfabril (02 August 1989)  
Jaime Schmidt, Chefe de Acabamento
- L. Ind. Linhas Leopoldo Schmalz S/A (03 August 1989)  
Maria de Conceicao, Eng. Químico
- M. Companhia Têxtil Karsten (04 August 1989)  
Carlos Odebrecht, Technical Director



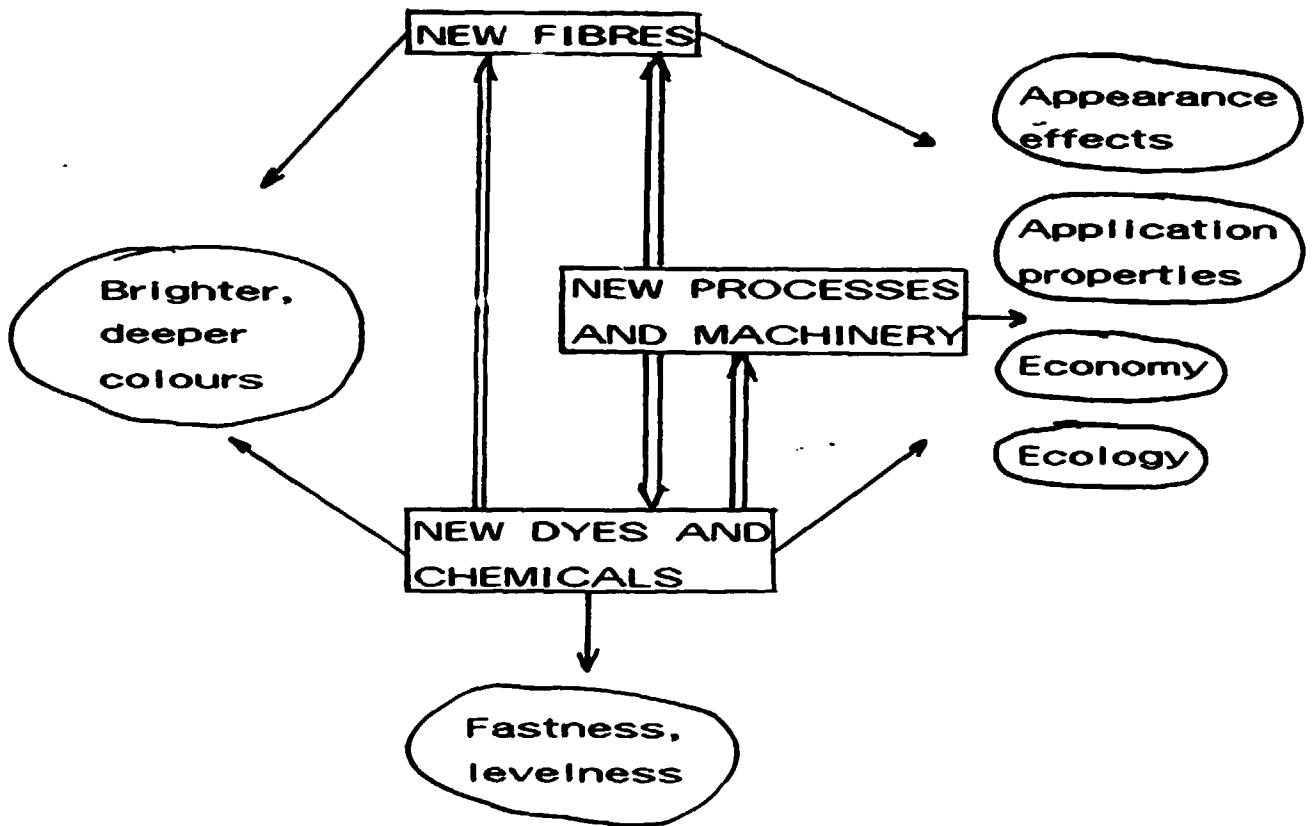


PANEL PAPER ON THE FUTURE OF THE TEXTILE  
DYEING AND FINISHING INDUSTRY IN THE CONTEXT  
OF TECHNICAL INNOVATIONS

Presented at the 5th National Seminar of Textile  
and Apparel Technology  
(V CNNTC)

Rio de Janeiro  
July 1989

ASPECTS OF DEVELOPMENT IN  
TEXTILE DYEING AND FINISHING



NEW MACHINERY AND PROCESSES

1850's to 1950's	Only classical processes, new machinery and processes just begin to appear
1960's and 1970's	Major new machinery/processes introduced in industrial scale, automation appears
1980's	Consolidation of new machinery and processes, automation starts to spread
1990's	Improvements and modifications in machinery/processes, consolidation of automation
Beyond 2000	5th generation computers, expert systems, artificial intelligence

NEW DYESTUFFS

1850's to  
1950's

Major synthetic dyestuff-classes  
discovered and introduced

1960's to  
1980's

New dyes in existing ranges,  
selections for specific applications

1990's

Improvements, modifications,  
no breakthrough

Beyond  
2000

Dyes for the "dream fibre"

NEW FIBRES

<b>1850's to 1950's</b>	<b>Major man-made and synthetic fibres discovered and introduced</b>
<b>1960's to 1980's</b>	<b>Physical (texturizing) and chemical (grafting, mod. polymers) modifications</b>
<b>1990's</b>	<b>Improvements, modifications, no breakthrough</b>
<b>Beyond 2000</b>	<b>The "dream fibre": hydrophilic, easy-care, custom-tailored properties</b>

NEW CHEMICALS

1850's to  
1950's

Classical chemical finishes  
discovered and introduced

1960's to  
1980's

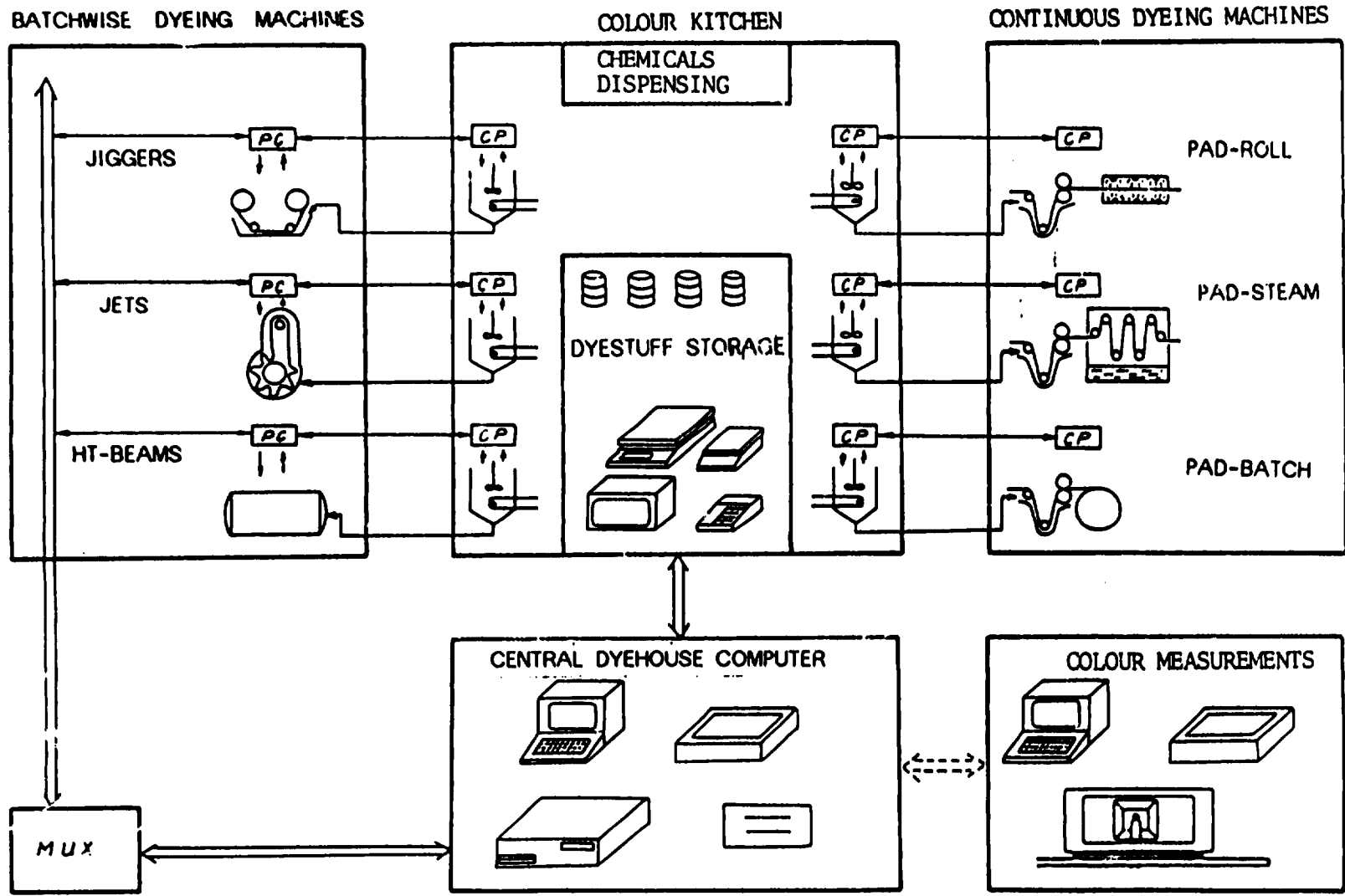
New finishing agents for special  
application properties introduced

1990's

Improvements, modifications,  
ecological aspects

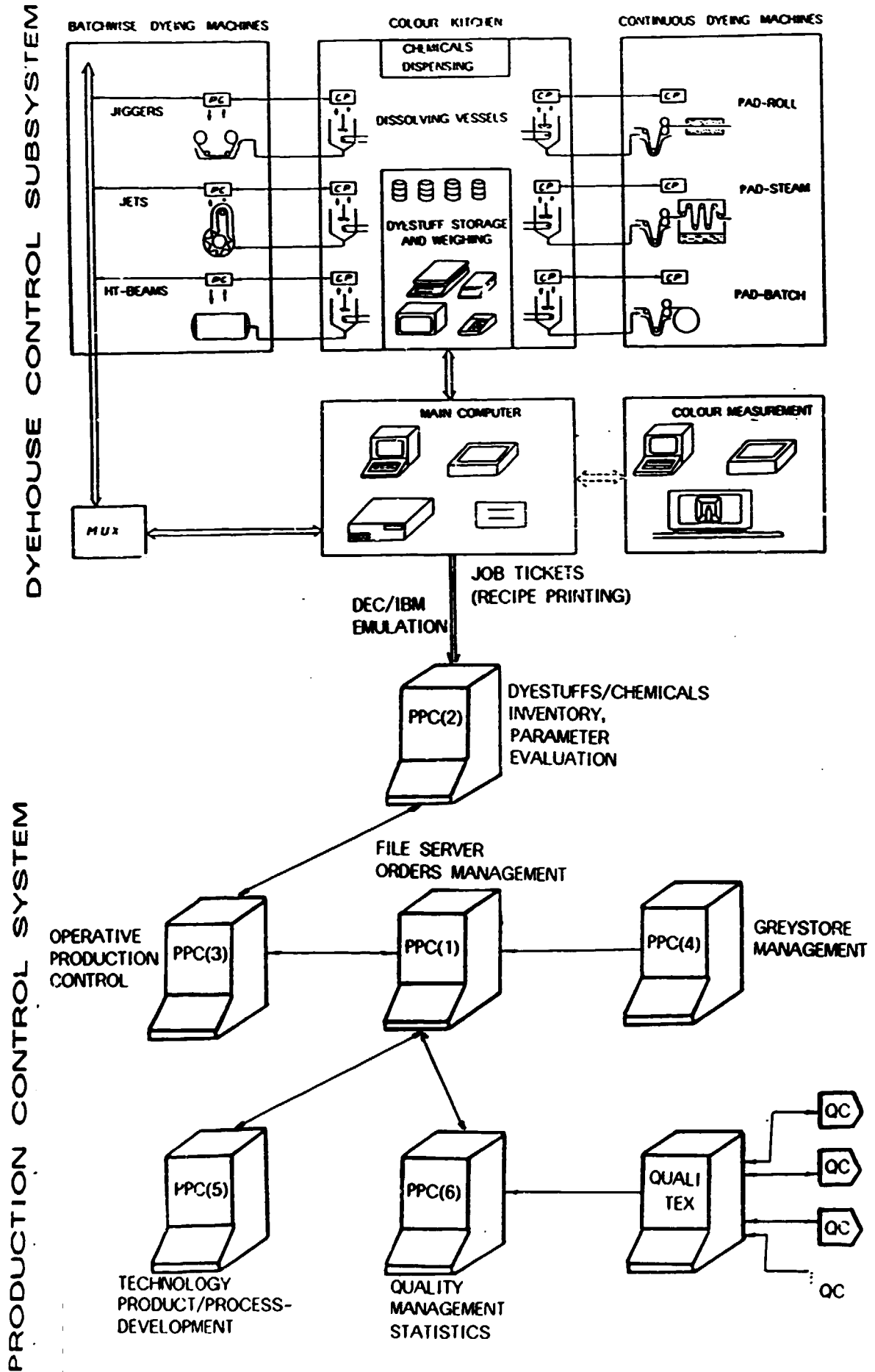
Beyond  
2000

Importance decreases with the  
appearance of custom-tailored  
fibres



SCHMATIC LAYOUT OF COMPUTERIZED DYEHOUSE





TOTAL COLOUR MANAGEMENT IN PRACTICE  
 The complex production control system of DUNASILK

DEMANDS OF THE 1990'S

QUICK RESPONSE

TOP QUALITY

REASONABLE PRICE

ANNEX 3.2

TENDÊNCIAS NA INSTRUMENTAÇÃO DA COR  
PARA A INDÚSTRIA TÊXTIL

Dr. Robert Hirschler —  
Consultor Técnico da UNIDO

1. INTRODUÇÃO

A medição da cor e a combinação computarodizada da cor tornou se, nos últimos anos, uma ferramenta diária em todo o mundo. No próprio Brasil já existem algumas poucas fábricas que dispõem de sistemas avançados de combinação de cores, em paralelo com alguns mais importados, existindo ainda algumas outras fábricas que estão pensando seriamente na compra de um deles.

Há uma ampla gama de instrumentos e de sistemas disponíveis, com diferenças significativas entre si e com os sistemas existentes no que tange à construção, ao desempenho e ao preço. Esta palestra constitui um auxílio a todos que gostariam de saber um pouco mais sobre esses equipamentos e sistemas, mas não sabem por onde começar.

A seguir, passaremos em revista, de modo breve, primeiramente as tendências de desenvolvimento que se registram no desenho dos elementos dos instrumentos e, em seguida, os instrumentos de medição com relação aos sistemas de combinação de cores. Finalmente, discutiremos o desempenho dos instrumentos atualmente disponíveis no mercado e definiremos os critérios para a escolha desses sistemas para aplicação na indústria têxtil.

2. ELEMENTOS DE DESENHO

Cada instrumento de medição de cores deve possuir uma fonte luminosa que ilumine a amostra, um seletor de comprimentos de onda, capaz de separar as diferentes espécies de raios (ou seja, as diferentes partes do espectro) e de um detector que transforme a luz em sinais elétricos. A maneira pela qual uma amostra é iluminada recebe o nome de geometria da medição, determinando a posição do seletor de comprimentos de onda se o instrumento é provido de uma ótica direta ou reversa. A maneira como o sinal que vem a amostra é comparado com os sinais de referência constitui o que chamamos de forma de medição (feixe singelo ou feixe duplo).

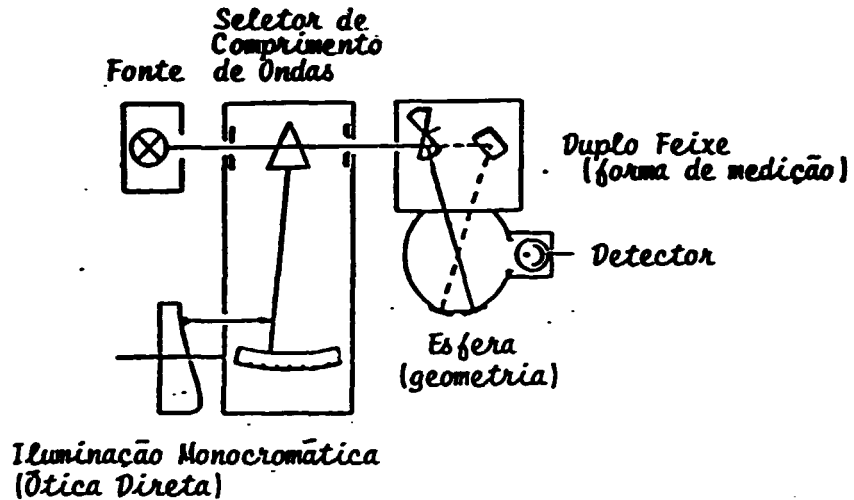


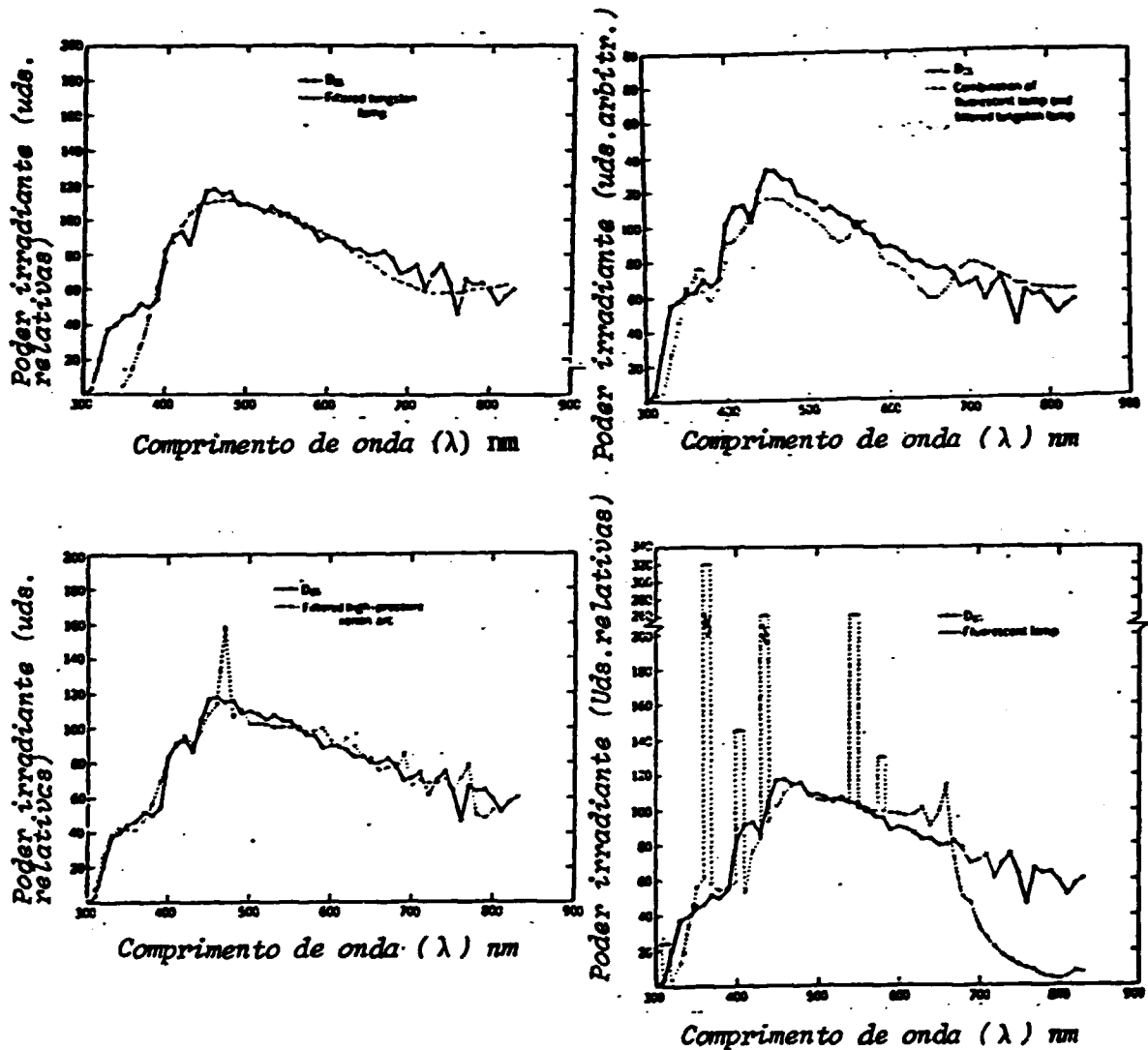
FIGURA 1  
ELEMENTOS DO DESENHO DE UM INSTRUMENTO  
DE MEDIÇÃO DA COR

## 2.1 - A Fonte Luminosa

De acordo com HUNTER (1975), os objetivos básicos na escolha da fonte luminosa para um instrumento de medição da cor são a *estabilidade*, o *direcionamento*, a *vida* e a *possibilidade de uso espectral*. A fonte luminosa precisa emitir uma irradiação - contínua sobre a gama total do comprimento de onda visível, porém, no caso da medição espectrofotométrica de corpos de prova não-fluorescentes, seu poder de distribuição espectral não constitui um aspecto crítico (SPD).

As amostras fluorescentes devem ser iluminadas com luz de natureza policromática que disponha de um SPD muito próximo a D<sub>65</sub> (o iluminante-padrão de luz do dia da C.I.E.). Este padrão pode ser alcançado, aproximadamente, por meio das fontes luminosas disponíveis atualmente, mas não existe nenhuma fonte luminosa ainda que apresente um SPD exatamente igual ao iluminante - D<sub>65</sub>.

Nos instrumentos de medição, as fontes luminosas mais comuns são o filamento de tungstênio, o arco de xenônio e o arco pulsante de xenônio. Na década de 70, houve algumas tentativas no sentido de usar tubos fluorescentes, mas estes jamais conseguiram, realmente, ganhar terreno. As curvas SPD de algumas fontes luminosas comuns são comparadas com o padrão D<sub>65</sub> na Figura 2.



## GLOSSÁRIO PARA A FIGURA:

Filtered tungsten lamp = Lâmpada de tungstênio filtrado

Combination of fluorescent lamp and filtered tungsten lamp = Combinação de lâmpada fluorescente e de lâmpada de tungstênio filtrado.

Filtered high-pressure xenon arc = Arco de xenônio filtrado de alta - pressão

Fluorescent lamp = Lâmpada fluorescente

FIGURA 2

FORÇA DE DISTRIBUIÇÃO ESPECTRAL RELATIVA DE QUATRO FONTES LUMINOSAS COMUNS EM COMPARAÇÃO COM O PADRÃO DE ILUMINANTE

D<sub>65</sub>.

A lâmpada convencional de filamento de tungstênio usada nos anos 50 e 60 já se encontra, no momento, totalmente substituída - pelas lâmpadas de quartzo-halogênio (QHT), que apresentam um desempenho totalmente melhor, como, por exemplo, *luz mais concentrada* (ou seja, com melhor direcionamento), temperatura operacional mais elevada, gerando uma *maior produção de energia* na região do ultravioleta e das ondas de comprimento curto visíveis, *maior estabilidade e vida mais longa* (ROSENTHAL, 1973).

As fontes de arco contínuo de xenônio usadas em alguns instrumentos comerciais nos anos 60 e princípios dos anos 70 foram substituídas pelo arco pulsante de xenônio, primeiramente usado em 1976 num desenho que era, na época, revolucionário concebido pela MACBETH no seu Espectrofotômetro MS 2000. O arco pulsante de xenônio tinha sido anteriormente usado de modo amplo nos equipamentos de "flash" fotográfico e sua aplicação nos espectrofotômetros tornou-se possível pelo aparecimento de diminutos diodos detectores feitos de silicônio, a partir dos quais tornava-se factível efetuar medições em comprimentos de onda dispostas em paralelo (em oposição à medição sequencial).

Tanto as lâmpadas de quartzo-halogênio de filamento de tungstênio como as fontes luminosas de arco pulsante de xenônio têm suas respectivas vantagens. As lâmpadas de quartzo-halogênio (QHT) apresentam *melhor estabilidade* e possibilidade de *varredura contínua* (portanto, oferecendo a escolha de melhores posições e quantidade de pontos de mensuração). O arco pulsante de xenônio tem a vantagem de oferecer uma *saída mais elevada de energia* nas gamas de curto comprimento de onda e de um *curto tempo de iluminação*, evitando, dessa forma, o aquecimento da amostra e, portanto, o problema do termocromismo.

Recentes avanços apontam na direção de um SPD melhor para as fontes QHT, já havendo alguns instrumentos providos de fontes QHT e sensores para comprimentos de onda paralelos (tempos muito curtos de mensuração). A estabilidade (ou melhor, a repetibilidade) dos "flashes" de xenônio era considerada, até há bem pouco tempo, simplesmente adequada e, com os extremamente pequenos detectores semi-condutores atualmente disponíveis, a sensibilidade paralela a cada 10 nm (32 pontos de medição) ou, mesmo, a cada 5 nm (76 pontos) também se tornou possível.

## 2.2. - O Seletor de Comprimentos de Onda

Existem dois métodos normalmente usados para a escolha da região de comprimento de onda desejada dentro do espectro: por meio de um elemento dispersor (primas) ou filtros.

Os elementos dispersores (prismas) dispersam a energia fornecida pela fonte como função do comprimento de onda, de modo que os raios de diferentes comprimentos de onda podem ser separados, como nos mostra a Figura 3.

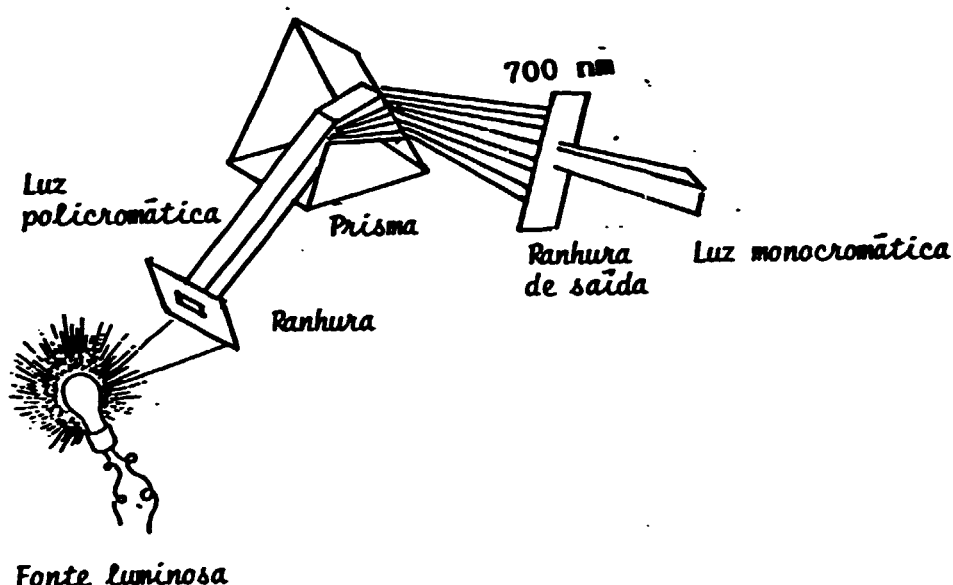


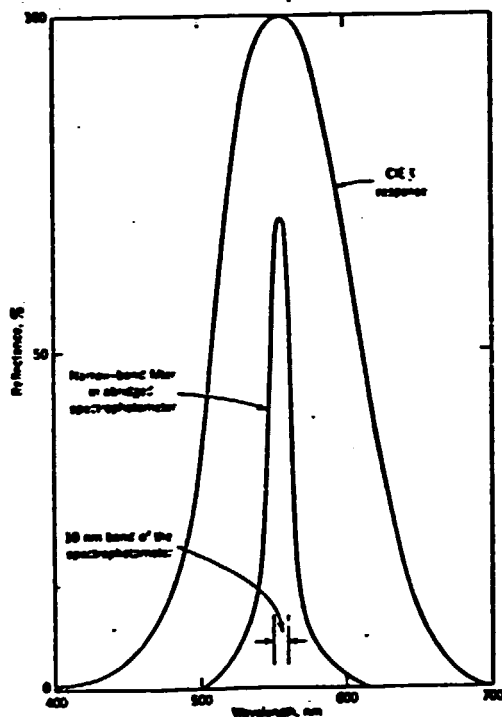
FIGURA 3

DISPERSÃO DA LUZ POLICROMÁTICA DENTRO DE UM ESPECTRO E SELEÇÃO DO COMPONENTE MONOCROMÁTICO PELA RANHURA DE SAÍDA.

A luz policromática é dispersada pelo prisma e o espectro total é projetado no plano da ranhura de saída. Para a medição da cor, a gama de comprimentos de onda estende-se, tipicamente, de 360 — 380 nm a 700 — 760 nm, porém, para objetivos especiais, pode descer a 300 nm no ultravioleta e ir até 1.000 nm na região próxima ao infravermelho. A largura da região escolhida (a largura da faixa) é determinada pela largura da própria ranhura de saída. Nos espectrofotômetros medidores de cor, encontramos, normalmente, 8-15 nm em oposição a 1 nm ou larguras de faixa mais estreitas nos espectrofotômetros analíticos.

Diferentes regiões de comprimentos de onda do espectro também podem ser selecionadas por meio de *filtros*, os quais podem ser *filtros de interferência* de passagem de faixa estreitos utilizados em espectrofotômetros "abreviados" ou *filtros tristímulus* de faixa ampla, usados nos colorímetros tristímulus. A largura relativa de faixa do filtro tristímulus "Y" (correspondente à

sensibilidade espectral do olho humano), o filtro de interferência de passagem estreita de faixa e a faixa de 10 nm de espectrofotômetro de prisma se acham comparados na Figura 4.



**GLOSSÁRIO DA FIGURA:**

Reflectance, % = Percentual de reflectância

Response = Resposta

Narrow-band filter in abridged spectrophotometer = Filtro da faixa estreita num espectrofotômetro abreviado

10 nm band of the spectrophotometer = Faixa de 10 nm do espectrofotômetro

Wavelength, nm = Comprimento de onda, nm

FIGURA 4

LARGURAS RELATIVAS DE FAIXA DE UM FILTRO TRISTIMULUS, DE UM FILTRO DE INTERFERÊNCIA E DE UM MONOCROMATOR TÍPICO.

A diferença básica entre os espectrofotômetros (com elementos dispersores ou filtros) e o colorímetros tristimulus é a de que o primeiro mede a reflectância espectral e os valores tristimulus X, Y e Z (as quantidades relativas como as coordenadas CIELAB) são computados a partir destes, enquanto os coló



rímetros tristimulus medem X, Y e Z diretamente.

Em 1970, o primeiro espectrofotômetro utilizando um *filtro de interferência* (o "DATACOLOR" 7100) foi lançado no mercado. Este filtro de interferência é um filtro linear (retangular) ou circular (em forma de disco), feito de tal maneira que a sua transmissão espectral varia ao longo da sua superfície como função contínua da localização física.

Ele é similar ao prisma ou monocromator no sentido de que qualquer comprimento de onda pode ser selecionado dentro da gama operacional do espectro e a faixa de passagem é determinada pela largura efetiva da ranhura. Esta é a principal vantagem do filtro em cunha sobre os filtros (convencionais) de interferência: a quantidade e o local dos pontos de medição podem ser livremente escolhidos, ao contrário dos espectrofotômetros "abreviados", onde a quantidade de filtros individuais (normalmente de 16 a 33) limitava a quantidade de pontos de medição.

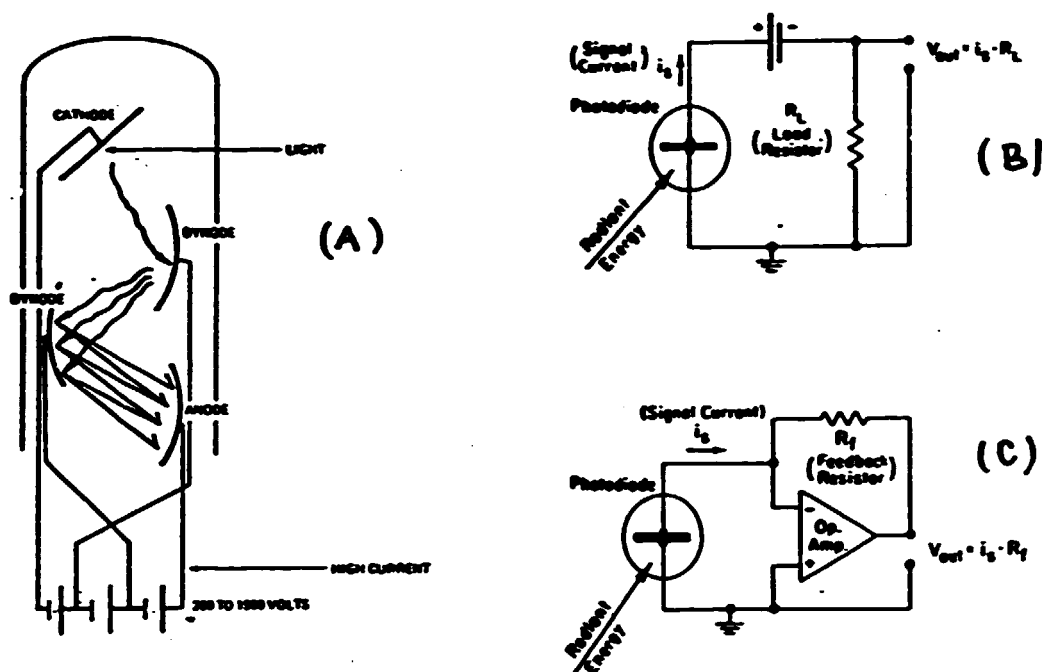
A tendência dos selectores de comprimentos de onda parece ser razoavelmente clara. Os monocromadores de difração — graças às técnicas holográficas — podem, agora, ser produzidos com alta qualidade e a um custo razoável e já substituíram o prisma em quase todos os espectrofotômetros comerciais. Os filtros tristimulus e de interferência tiveram seu lugar ao só nos desenvolvimentos registrados na instrumentação da cor ao longo dos 60 anos de sua história, mas hoje em dia eles não apresentam qualquer real vantagem em comparação com a dispersão moderna, tendendo o seu papel, ao que tudo indica, diminuir nos próximos anos.

### 2.3 - Detectores

O primeiro espectrofotômetro fotoelétrico tornou-se comercialmente disponível nos anos 30. Antes disso, o único detector usado nos instrumentos de medição da cor tinha sido o olho humano.

Existem dois tipos básicos de detectores de fótons usados nos instrumentos de medição da cor: o *fototubos* e *os tubos fotomultiplicadores* baseados no processo de foto-emissão e em *células semi-condutoras* (camada-barreira) operadas por processo fotocondutivo ou fotovoltaico (Figura 5).

As células semi-condutoras (usualmente de silicone) são consideradas mais atualizadas do que os tubos fotomultiplicadores e, na verdade, apresentam uma certa quantidade de vantagens distintas, tais como a estabilidade de sua resposta à luz (inde



GLOSSÁRIO PARA A FIGURA:

- Cathode = Catodo
- Dynode = Dinodo
- Anode = Anodo
- Photodiode = Fotodiodo
- Load resistor = Resistor de carga
- Signal current = Sinal de corrente
- 200 to 1500 volts = De 200 a 1500 volts
- Radiant energy = Energia radiante
- High current = Corrente alta
- Feedback resistor = Resistor de "feedback"
- Light = Luz

FIGURA 5

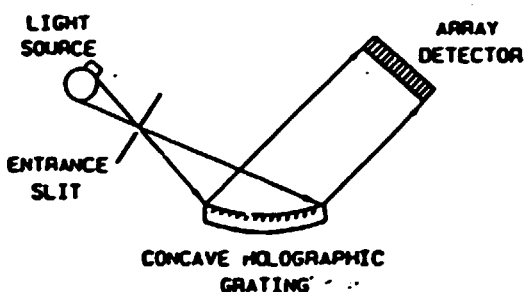
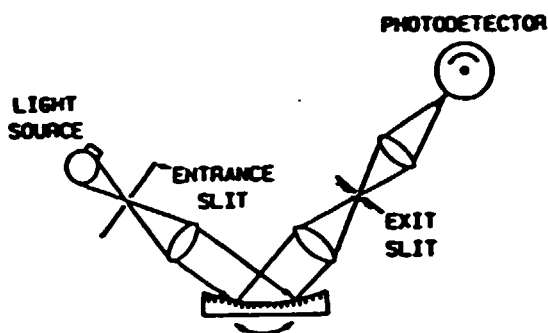
OPERAÇÃO DO TUBO FOTOMULTIPLICADOR (A) E DO FOTODIODO DE SILICONE, RESPECTIVAMENTE NAS FORMAS DE OPERAÇÃO FOTOCONDUTIVA E FOTOVOL-TÁICA.

pendentemente da variação da temperatura), pequeno porte, desnecessidade de fonte elétrica externa e preço relativamente baixo. Os mais convencionais tubos fotomultiplicadores são usados em situações onde sua maior sensibilidade explica o maior custo. Devido a suas vantagens em seus respectivos campos de aplicação, ambos os tipos de detectores têm possibilidade, ao que parece, de serem igualmente usados também nos futuros instrumentos.

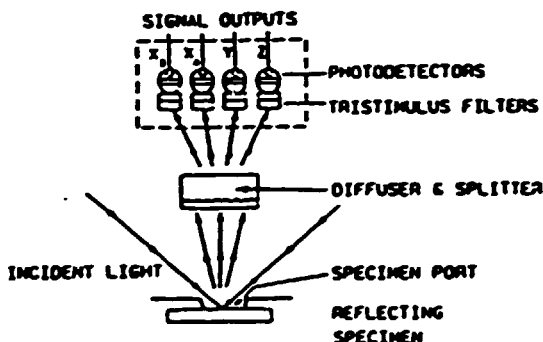
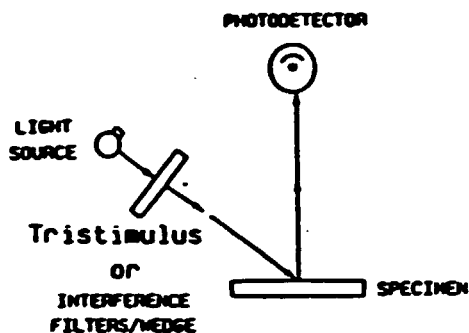
A quantidade de detectores usada no instrumento depende de as medições feitas em diferentes partes do espectro seguirem-se umas às outras (sensibilidade sequencial) ou de ocorrerem simultaneamente, separadas por um espaço (sensibilidade paralela), como ilustrado pela Figura 6.

Parallel Sequential

**Dispersion**



**Filter**



**GLOSSÁRIO PARA A FIGURA:**

Light source = Fonte luminosa

Entrance slit = Ranhura de entrada

Exit slit = Ranhura de saída

Array detector = Detector de cortina

Concave holographic grating = Grade holográfica côncava

Incident light = Luz incidente

Interference filters/wedge = Filtros/cunhas de interferência

Reflecting specimen = Corpo de prova refletor

Diffuser & Splitter = Difusor e divisor

Specimen port = Abertura do corpo de prova

Specimen = Corpo de prova

Photodetector = Fotodetector

Signal outputs = Saídas dos sinais

Trichromator filters = Filtros tristimulus

Dispersion = Dispersão

Filter = Filtro

Parallel = Paralela

Sequential = Sequencial

FIGURA 6

MEDIÇÃO SEQUENCIAL E PARALELA DE DIFERENTES PARTES DO ESPECTRO PARA O TIPO DE DISPERSÃO RELATIVAMENTE AOS TIPOS DE FILTROS DOS INSTRUMENTOS.

Para as *medições sequenciais* (tais como a varredura do espectro com um monocromador ou com um filtro em cunha de interferência contínua ou a mensuração com filtros discretos de interferência ou filtros tristimulus) usa-se um ou dois detectores, dependendo da maneira de efetuar a medição e da construção do instrumento particular em uso.

Para a sensibilização simultânea (paralela) muitos dos colorímetros tristimulus dispõem de 4 detectores, um por trás de cada filtro tristimulus, e existe, pelo menos, um instrumento de filtro discreto de interferência com sensibilidade paralela (o "Mathis/Optronic Colorflash"). Neste modelo, em particular, existem dezesseis detectores para a amostra-feixe e outros dezesseis para o feixe de referência.

O primeiro instrumento provido de detector de cortina, lançado no mercado em 1976, apresentava 16 canais, isto é, a quantidade de pontos de medição encontrava-se limitada a leituras feitas a cada 20 nm entre 400 e 700 nm. Avanços na área dos detectores semi-condutores resultaram em diodos de silicone menores, mais estáveis e mais sensíveis, de modo que hoje existem instrumentos disponíveis com 33 ou, até, 76 fotodetectores de diodo de silício, proporcionando dados de reflectância de 375 nm a 750 nm a intervalos de 5 nm.

As tendências na área das combinações de fontes — seletor de comprimento de onda — detector acham-se ilustradas pela Figura 7. O desenho clássico (fonte de quartzo-tungstênio-halogênio, monocromador de grade e detector de tubo fotomultiplicador) continua a ser usado na extremidade mais elevada do mercado, satisfazendo as demandas mais exigentes. Para aplicações industriais, a grade holográfica côncava — diodo de silicone de cortina, combinadas, parece estar se tornando a mais popular, seja com uma fonte contínua de QHT ou com o arco pulsante de xenônio.

#### 2.4 - Geometria da Medição

A forma apropriada (direcional ou difusa) e o ângulo de iluminação da amostra e sua forma de ser observada têm sido um dos pontos de maior controvérsia na espectrofotometria prática. Originalmente, em 1931, a CIE recomendava apenas a iluminação e a observação direcionais (45/0 ou 0/45) e esta foi a geometria do primeiro Espectrofotômetro Hardy. Na versão posterior (a General Electric/Hardy), mudou-se isto para 60º/difuso, a fim de evitar a sensibilidade of a geometria 0/45 a pequenas variações nas características da superfície das amostras que estavam sendo medidas.

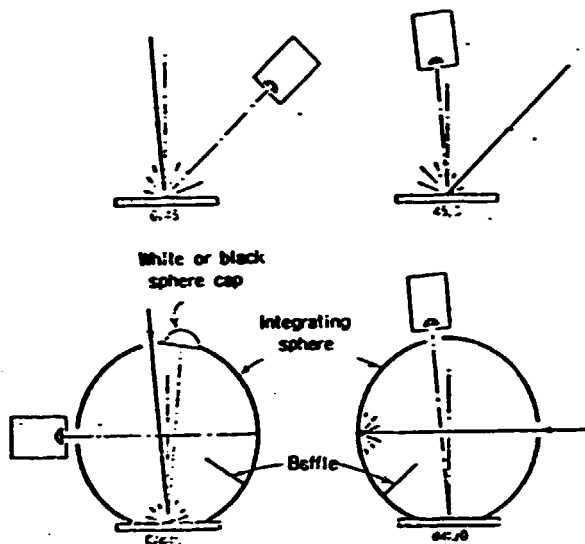
No momento, a CIE recomenda que as medições do fator de reflectância sejam feitas sob uma das seguintes condições de ilu-

FONTE	ANALISADOR DE COMPRIMENTOS DE ONDA	DETECTOR (PMT OU SOLID STATE)	SELETOR DE COMPRIMENTO DE ONDA				
			ANOS 50	ANOS 60	ANOS 70	ANOS 80	FUTURO
Contínua	Elemento de dispersão						
(Tungstênio ...)	Prismas	Sequencial (varredura)	—————→				NÃO
QTH	Grades	Sequencial (varredura)	—————→				SIM
Arco-X	Grades	Paralela (cortina)				—————→	SIM
Contínua	Filtro de Interferência						
(Tungstênio....)	Discreto	Sequencial	—————→				NÃO
QTH	Discreto	Paralelo				—————→	NÃO
Arco-X	Cunha retangular	Sequencial			—————→		NÃO
	Cunha circular	Sequencial			—————→		NÃO
Pulsante	Grades	Paralelo (cortina)			—————→		SIM
Pulsante	Filtros discretos	Paralelo				—————→	NÃO

FIGURA 7

TENDÊNCIAS RELATIVAS À COMBINAÇÃO "FONTE LUMINOSA — SELETOR DE COMPRIMENTO DE ONDAS — DETECTOR.

minação e de observação: 45/0, 0/45, d/0 ou 0/d, como vemos ilustrado pela Figura 8.



GLOSSÁRIO DA FIGURA:

White or black sphere cap = Tampa esférica branca ou negra

Integrating sphere = Esfera integrante

Baffle = Amortecedor

FIGURA 8

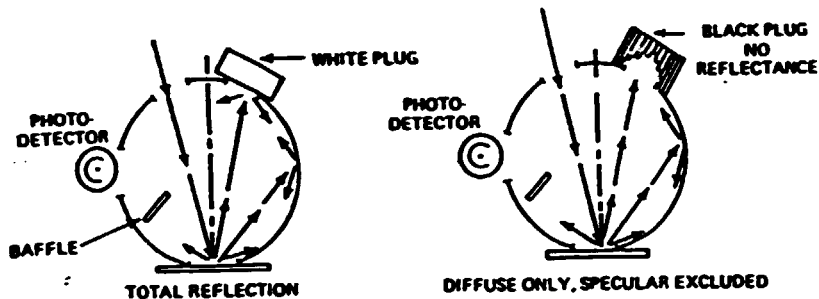
DIAGRAMA ESQUEMÁTICO MOSTRANDO AS 4 GEOMETRIAS-PADRÃO CIE DE ILUMINAÇÃO E DE OBSERVAÇÃO.

As condições de iluminação e de observação na maioria dos instrumentos encontrados no mercado se acham em consonância com as recomendações da CIE, embora existam diferenças significativas na implementação prática.

A esfera integrante pode ser de qualquer diâmetro, contanto que a área das aberturas não ultrapassem 10% da área interna de reflexão. Na maioria dos instrumentos ela é usualmente de 150 ou 200 mm, porém, nos anos 60, houve alguns instrumentos com esferas de 300mm e o "Large Sphere Color Eye", da IDL, apresentava uma esfera integrante de 18" (457 mm) de diâmetro.

A maioria dos instrumentos de esfera proporciona a exclusão ótica da luz especularmente refletida, tornando possível medir

ou a reflexão total (inclusive a especular) ou a reflexão difusa apenas (com exceção da especular). A amostra é iluminada (ou observada) num ângulo que não ultrapassa 10° do normal, geralmente entre 6° a 8° e a reflexão especular é removida por meio de um armadilha polida (uma "tampa" ou "plug" branco ou preto colocado na parede da esfera), tal como ilustrado pela Figura 9.



GLOSSÁRIO DA FIGURA:

Photodetector = Fotodetector

Black plug = "Plug" preto

No reflectance = Ausência de reflectância

Baffle = Amortecedor

Total reflection = Reflexão total

White plug = "Plug" branco

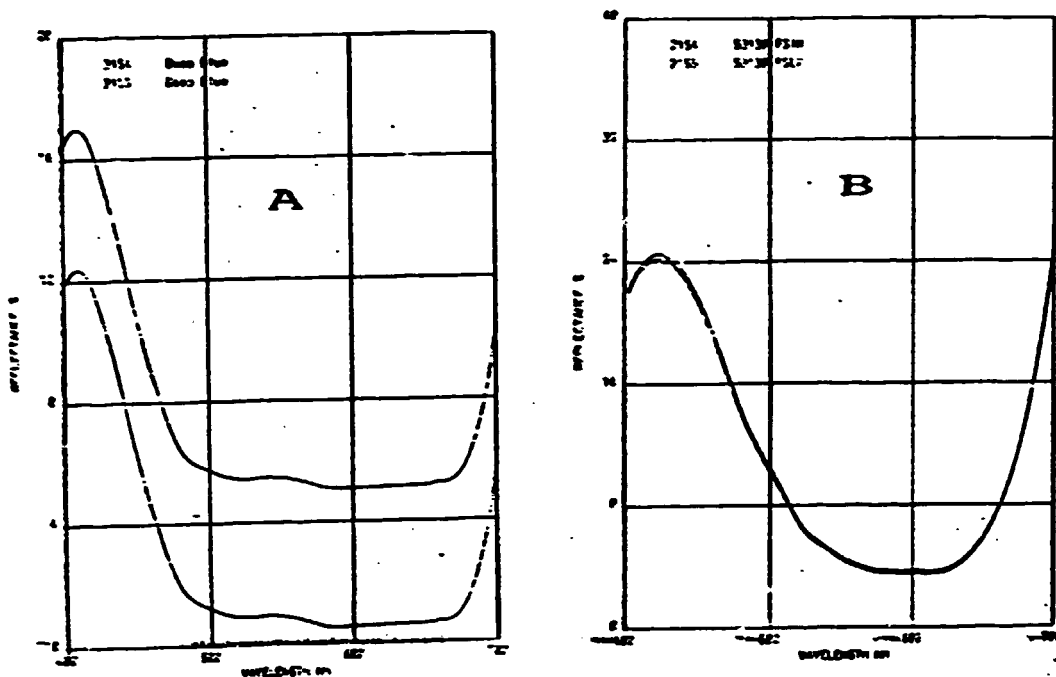
Diffuse only, specular excluded = Somente difusa, com exceção da especular

FIGURA 9

A CONVERSÃO DE UMA ESFERA, MODIFICANDO SUA GEOMETRIA DE MEDIÇÃO, PASSANDO-A DE UMA REFLEXÃO TOTAL (INCLUSIVE ESPECULAR) PARA A DE APENAS DIFUSÃO (EXCETO ESPECULAR).

O efeito da inclusão ou da exclusão do componente especular é marcante para amostras altamente brilhantes, mas praticamente negligenciável para têxteis, como mostrado pela Figura 10.

Sustenta-se que, em termos razoáveis, a geometria bidirecional (45/0 ou 0/45) adapta-se melhor à maneira através da qual o observar vê a amostra, porém existe muito pouca evidência direta sustentando este ponto de vista. Por outro lado, os instrumentos que dispõem de iluminação direcional (ou observação) e que usam um, dois ou, até, 4 feixes opostos (como mostrado, por exemplo, na Figura 11), podem ser sensíveis não apenas



GLOSSÁRIO DA FIGURA:

Reflectance = Reflectância  
Wavelength = Comprimento de onda  
Deep blue = Azul escuro

FIGURA 10

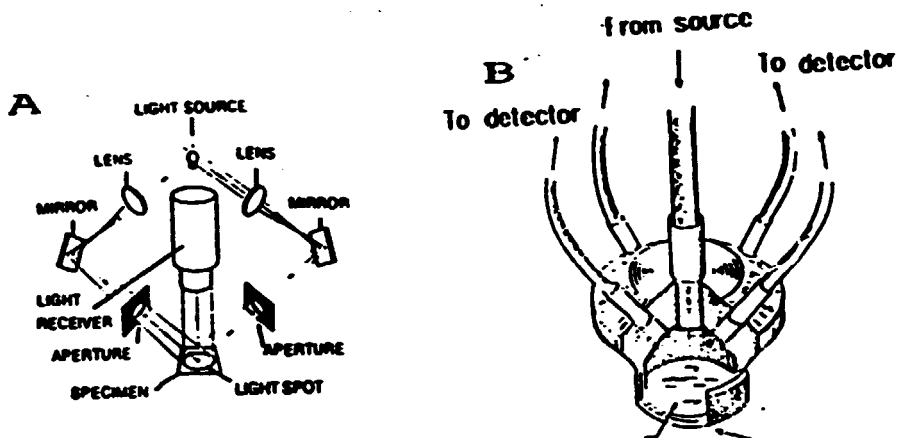
CURVAS DE REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DE AMOSTRAS DE AZUL ESCURO, UMA VEZ COM A REFLEXÃO ESPECULAR INCLUÍDA E OUTRA COM A MESMA EXCLUÍDA.

A = LADRILHO DE CERÂMICA (DE ALTO BRILHO)  
 B = CETIM TECIDO DE POLIÉSTER (BAIXO BRILHO)

à estrutura da superfície do corpo de prova a ser medido. Diferenças significativas nos fatores de reflectância com relação às coordenadas da cor podem ser experimentadas em algumas amostras (tecidos estruturados, fios paralelamente enrolados, etc) quando se os vira para ângulos de, digamos, 22,5°, 45° ou 90° entre duas medições.

Uma das formas de evitar o problema da orientação é aumentar a quantidade de feixes de fibras (no caso de óticas de fibras) para 8 ou, mesmo, 16. Outra solução é utilizar iluminação em forma de circunferência (ou observação) com espelhos multif





GLOSSÁRIO DA FIGURA:

- Light source = Fonte luminosa
- Lens = Lente
- Mirror = Espelho
- Light receiver = Receptor de luz
- Aperture = Abertura
- Specimen = Corpo de prova
- Light spot = Ponto de luz

- From source = Da fonte
- To detector = Para o detector

FIGURA 11

A: 2\*45° ILUMINAÇÃO/OBSERVAÇÃO 0°  
 B: ILUMINAÇÃO 0°/ OBSERVAÇÃO 4\*45°

cetados (por exemplo, 72 ou 240) ou com lâmpada ou detector em forma de anel (Figura 12).

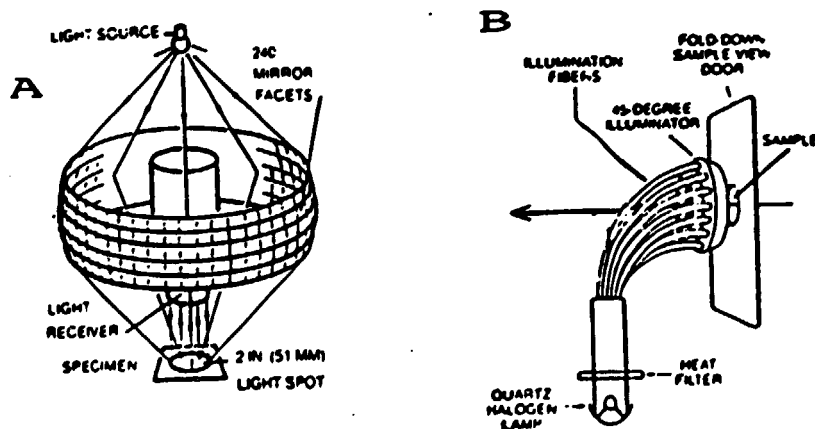


FIGURA 12

ILUMINAÇÃO EM FORMA DE CIRCUNFERÊNCIA SIMÉTRICA COM ESPELHO DE 240 FACETAS (A) OU COM FIBRA ÓTICA (B). - Vide glossário na pag. seguinte.

GLOSSÁRIO DA FIGURA 12 (página anterior):Light source = Fonte luminosaLight receiver = Receptor de luzSpecimen = Corpo de prova2 in (51 mm) = 2 pol. (51 mm)240 Mirror Facets = Espelho com 240 facetasLight spot = Ponto de luzIllumination fibers = Fibras de iluminaçãoHeat filter = Filtro de aquecimentoQuartz-halogen lamp = Lâmpada de quartzo-halôgêno45 degree illuminator = Iluminador de 45 grausSample = AmostraSample view door = Janela de observação da amostra

De vez que, como afirmamos anteriormente, não existe consenso geral no que tange a qual seja a melhor geometria de medição, a maioria dos fabricantes oferece os mesmos instrumentos em duas versões: uma com esfera e outra com geometria direcional, deixando a escolha ao usuário.

2.5 - O seletor de comprimentos de onda (elemento dispersante ou filtro) pode ser colocado ou entre a fonte luminosa e a amostra ou entre esta última e o detector. No primeiro caso, a amostra é iluminada com luz monocromática e a observação é policromática; no segundo caso, a iluminação é policromática e a observação é monocromática. A Figura 13 ilustra as duas disposições óticas, tanto para a geometria 45/0 como para a de esfera.

Pode-se observar aqui que todas as demais combinações de seletor — geometria da medição — disposição ótica também são possíveis, exceto no caso da sensibilidade simultânea, que não pode ser feita com iluminação monocromática.

Para amostras não fluorescentes, as duas disposições proporcionam resultados idênticos, porém para corpos de prova fluorescentes só a iluminação policromática oferece resultados que se correlacionam com aquilo que se vê. É também aqui que a força de distribuição espectral da fonte luminosa desempenha um papel importante. Se as amostras fluorescentes forem iluminadas com luz monocromática, os resultados não se correlacionarão com aqueles do julgamento visual, porém a comparação entre as duas medições torna possível separar a verdadeira reflectância e a verdadeira fluorescência (é o que chamamos de "método de forma dupla").

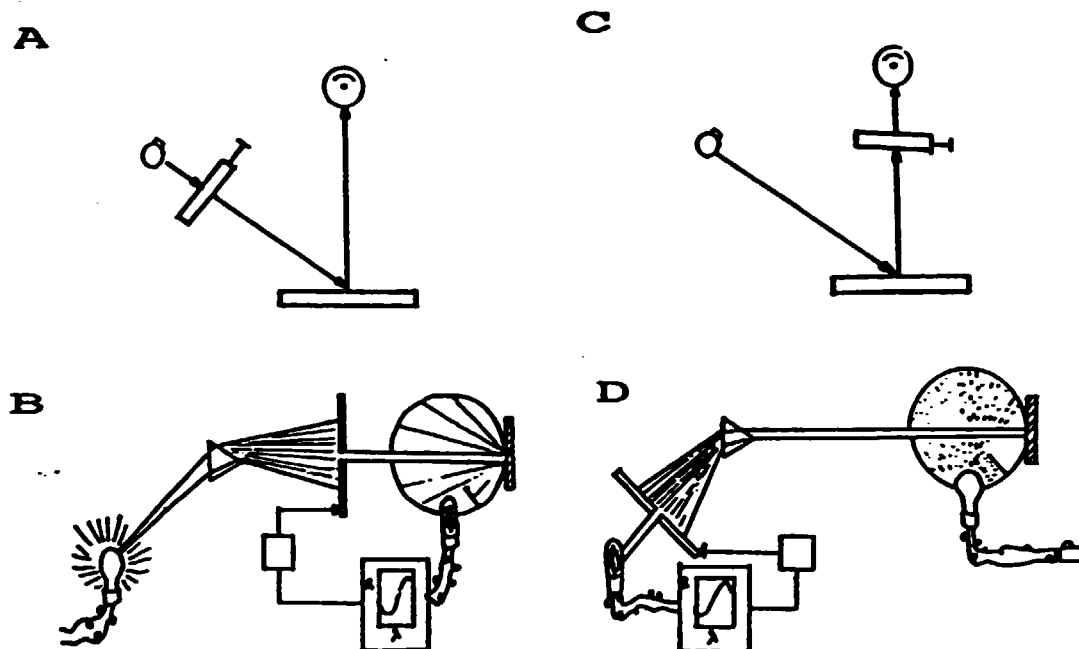


FIGURA 13

ILUMINAÇÃO MONOCROMÁTICA (ESQUERDA) PARA:

A = INSTRUMENTO DE FILTRO, 45/0;

B = INSTRUMENTO COM MONOCROMATOR, 0/d; E

ILUMINAÇÃO POLICROMÁTICA (DIREITA) PARA:

C = INSTRUMENTO DE FILTRO, 45/0;

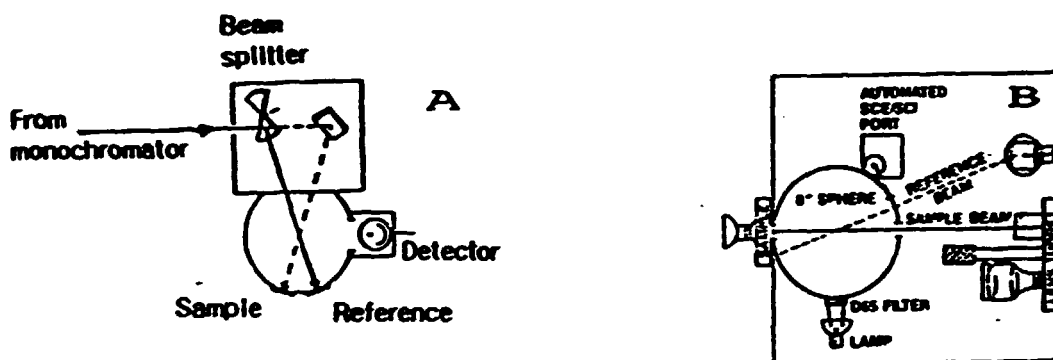
D = INSTRUMENTO COM MONOCROMATOR, d/0.

Com apenas uma exceção, todos os instrumentos atualmente existentes no mercado utilizam iluminação policromática e observação monocromática. Essa exceção é o DIANO MatchScan II, provido de ótica reversa, que torna possível efetuar medições tanto com iluminação policromática como monocromática, uma conquista basicamente reserva para trabalhos de pesquisa e de desenvolvimento.

## 2.6 - Formas de Medição

Um dos principais problemas que os projetistas dos primeiros espectrofotômetros fotoelétricos tiveram de enfrentar foi o do comportamento desgovernado das primeiras fotocélulas e amplificadores. De vez que esses dispositivos não conseguiam manter uma determinada calibragem o tempo suficiente para que fossem feitas medições acuradas, o método nulo teve de ser apli

cado e os sinais emitidos pela amostra eram repetidamente comparados àqueles que chegavam do padrão de referência. Nos clássicos instrumentos de duplo feixe isto foi obtido, dividindo-se o feixe de luz que partia ou ia para o monocromador em dois, um iluminando a amostra e o outro o padrão de referência, tal como mostrado pela Figura 14(A).



GLOSSÁRIO DA FIGURA:

From monochromator = A partir do monocromador

Beam splitter = Divisor do feixe

Detector = Detector.

Sample = Amostra .

Reference = Referência

Sample beam = Feixe da amostra

D65 Filter = Filtro D65

8\" Sphere = Esfera de 8\"

Automated SCE/SCI Port = Abertura automática SCE/SCI

Lens turret = Torre das lentes

FIGURA 14

A: DESENHO CLÁSSICO DE FEIXE DUPLO

B: DESENHO DE FEIXE DUPLO COM DOIS DETECTORES E SISTEMA DE VISÃO DIRETA DA IMAGEM (DSI)

Uma novidade interessante é um instrumento de feixe duplo com dois detectores, uma para a amostra e outro para o feixe de referência que vem da parede da esfera (Figura 14(b)). Esta disposição combina a simplicidade e a eficiência dos instrumentos de feixe único (com visão direta da imagem da amostra) com a estabilidade normalmente atribuída aos verdadeiros instrumentos de duplo feixe.

Com fontes luminosas não contínuas ("flash" pulsante de xenônio), o princípio clássico do duplo feixe não pode ser aplicado. Nesses instrumentos são necessários detectores adici

onais para o feixe de referência, medindo apenas a intensidade da fonte (mas sem separá-la em componentes monocromáticos) ou uma seleção de filtros de comprimentos de onda e dois conjuntos de detectores

Melhorias na fonte luminosa e na estabilidade do detector tornaram possível projetar *instrumentos de feixe único* providos de alto desempenho, em que o erro na escala fotométrica (anteriormente um dos principais problemas do feixe único) era corrigido por meio de um sofisticado programa de computador. A despeito do inegável sucesso destes instrumentos — óticamente mais simples e, portanto, mais sensíveis e menos caros — mesmo aqueles fabricantes que detinham esses sucessos retornaram, em seus últimos modelos, ao duplo feixe, que parece oferecer melhor desempenho global e que, ao que tudo indica, deverão permanecer como a forma de medição dominante nos anos 90.

### 3. Instrumentos de Medição da Cor

#### 3.1 - Os Clássicos: Espectrofotômetros de Varredura

A medição da cor, tal como a conhecemos e a praticamos, teve seu começo no final dos anos 20, quando o Professor A.C. HARDY, do Instituto de Tecnologia de Massachussetts, projetou o seu instrumento clássico. O modelo original — o "Recording Photoelectric Color Analyser" [Hardy, 1929], apresentava iluminação policromática, geometria 0/45, um monocromador de prisma único e as então novas células fotoelétricas como detectores. Este foi o primeiro instrumento em que o princípio do duplo feixe foi usado.

Um modelo mais avançado, que em seguida foi comercializado com o nome de "General Electric Recording [Photoelectric] Spectrophotometer" teve seu desenho surgido no início dos anos 30 [Hardy, 1935]. Houve algumas modificações: duplo monocromador para melhor resolução espectral, iluminação e observação reversas, de modo que a amostra fosse iluminada com luz monocromática (para evitar o aquecimento da amostra) e uma geometria  $6.5^\circ$ /difusa para minizar o efeito da estrutura da superfície. O Espectrofotômetro de Hardy da General Electric (Figura 15) tornou-se o instrumento de referência ao longo de três décadas. Existem alguns modelos tipo "cano de fogão" e alguns outros de um posterior "novo modelo" ainda em operação

Nos anos 60, foram introduzidos os acessórios de reflectância, a fim de serem usados com espectrofotômetros analíticos (de transmissão), tais com o "Spectronic 505" (Bausch &

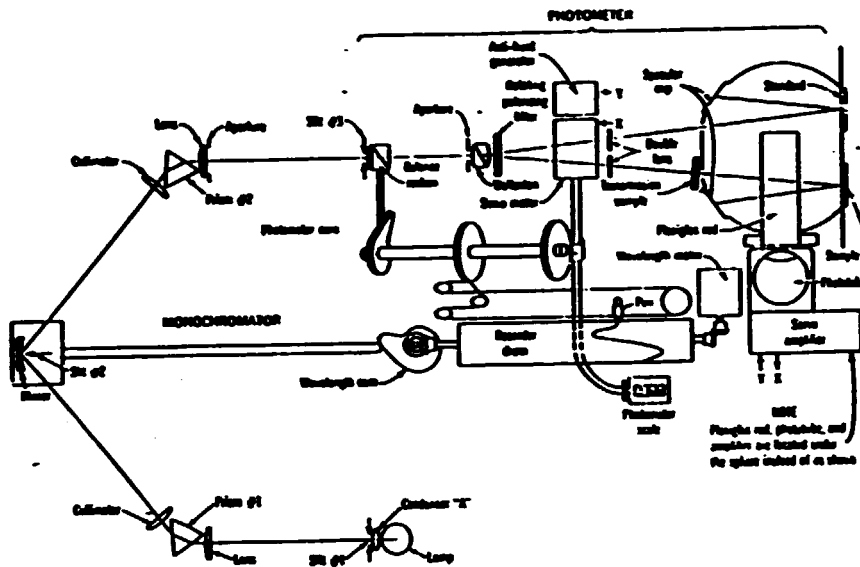


FIGURA 15 (A)  
COMPONENTES DO ESPECTROFOTÔMETRO G.E.HARDY

GLOSSÁRIO PARA A FIGURA:

- Monochromator = Monocromator
- Lens = Lente
- Aperture = Abertura
- Mirror = Espelho
- Prism = Prisma
- Collimator = Colimador
- Slit = Ranhura
- Wavelength Cam = Camo de Comprimento de onda
- Recorder drum = Tambor do Registrador
- Photometer = Fotômetro
- Rotating polarizing filter = Filtro rotativo de polarização
- Photometer scale = Escala do fotômetro
- Servo amplifier = Amplificador servo
- Pen = Caneta
- Photometer cam = Camo do fotômetro
- Sample = Amostra
- Wavelength motor = Motor do comprimento de onda
- Phototube = Fototubo
- Standard = Padrão
- Servo motor = Motor servo
- Specular cup = Taça especular
- Transmission sample = Amostra de transmissão
- Double lens = Lente dupla

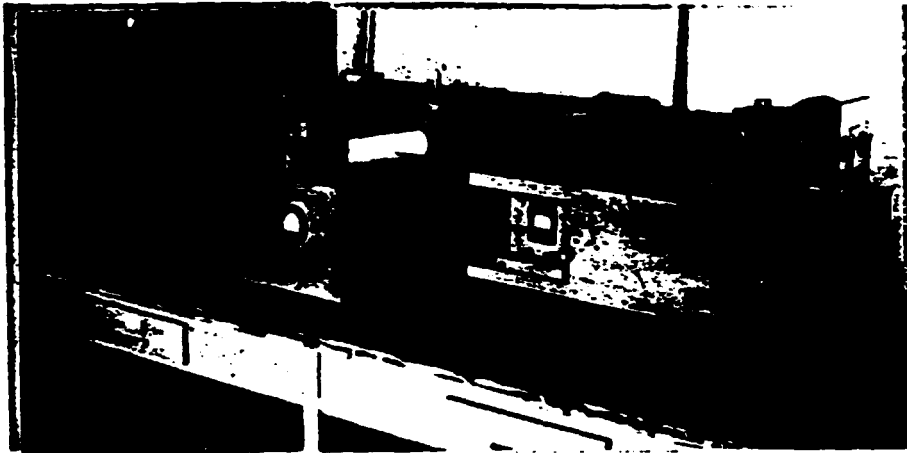


FIGURA 15(B)

FOTO DO ESPECTROFOTÔMETRO G.E.HARDY

Lomb. Os modelos DMC 25 (da Zeiss) e do Cary, mod. 14 (Applied Physics Corporation) foram universalmente aplicáveis instrumentos de pesquisa em forma modular, de modo que as fontes luminosas e as geometrias da iluminação e da observação podiam ser modificadas.

Houve tentativas de modernizar esses instrumentos por automação. o Sistema "AutoMATE" oferecido pela DIANO Corporation no início dos anos 70, consistia num computador-controlador de objetivos gerais ligado a um espectrofotômetro por meio de um interface, encontrando-se disponível para adaptação aos instrumentos G.E.Hardy, DMC-25 e Spectronic 505.

Em 1976, CARL ZEISS lançou o modelo modernizado e atualizado da série DMC chamado DMC 26 (Figura 16).

Este foi o mais altamente sofisticado espectrofotômetro de pesquisa jamais tornado disponível comercialmente. Ele possui uma fonte luminosa tanto de tungstênio-halogeno (Hal.-Lp), como de arco contínuo de xenônio (Xe-Lp), a primeira para ser usada com iluminação monocromática e a segunda com iluminação policromática (ótica de característica reversa). O monocromador era duplo e a geometria da medição podia ser selecionada: shere ( $d/8$  resp.  $8/d$ ),  $4/5$  ou gonio (ângulo variável). O instrumento foi desenhado para ser interfaciado ao então muito avançado minicomputador HP 21MX. Foi uma real perda para a ciência da cor o fato de a Zeiss haver tirado de produção esta linha de instrumentos.

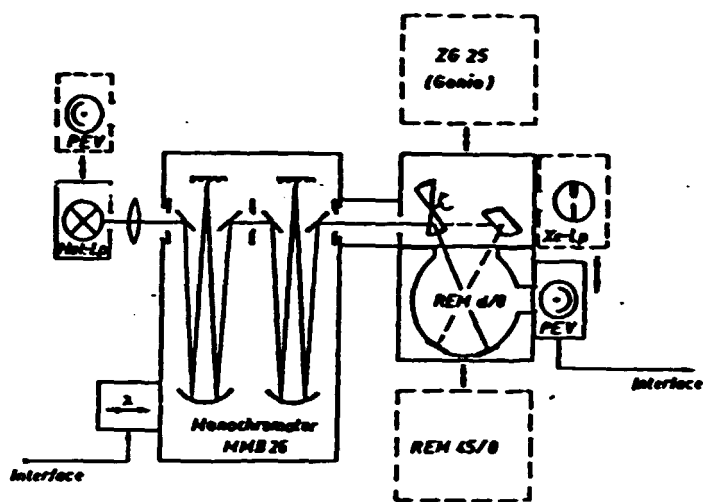


FIGURA 16

DIAGRAMA ÓTICO DO ESPECTROFOTÔMETRO ZEISS  
MODELO DMC-26 (VIDE EXPLICAÇÃO NO TEXTO)

Também no ano de 1976, a DIANO anunciou a versão melhorada do modelo Hardy, que se passou a chamar DIANO/Hardy II e a de um novo instrumento chamado MatchScan. O DIANO/Hardy II manteve o desenho original, consistindo as principais melhorias a ótica reversa e a conexão a uma linha de minicomputadores (DEC/PDP). O desenho do MatchScan marchou um passo à frente, ainda mantendo a bem comprovada bancada ótica, o princípio do duplo feixe e a geometria esférica, porém introduzindo um monocromador de difração (para substituir o duplo prisma do modelo Hardy) e os primeiros espelhos de superfície por todo o percurso ótico (Figura 17).

Com maiores melhorias, este instrumento ainda se encontra à venda, sob a denominação de DIANO MatchScan II (Milton Roy Co.), constituindo atualmente o espectrofotômetro comercialmente disponível mais versátil, adequado tanto para a pesquisa como para aplicações industriais.

Uma versão menos exigente do que esta (dotada apenas de observação policromática), mas também com geometria 45/0, também está sendo comercializada pela Milton Roy sob o nome de "Color Scan II" (Figura 18).

O único espectrofotômetro clássico, de varredura, disponível, no momento, dotado de duplo feixe, monocromador e detector de diodo de silicone é o "Spectrogard II", modelo da Gard-



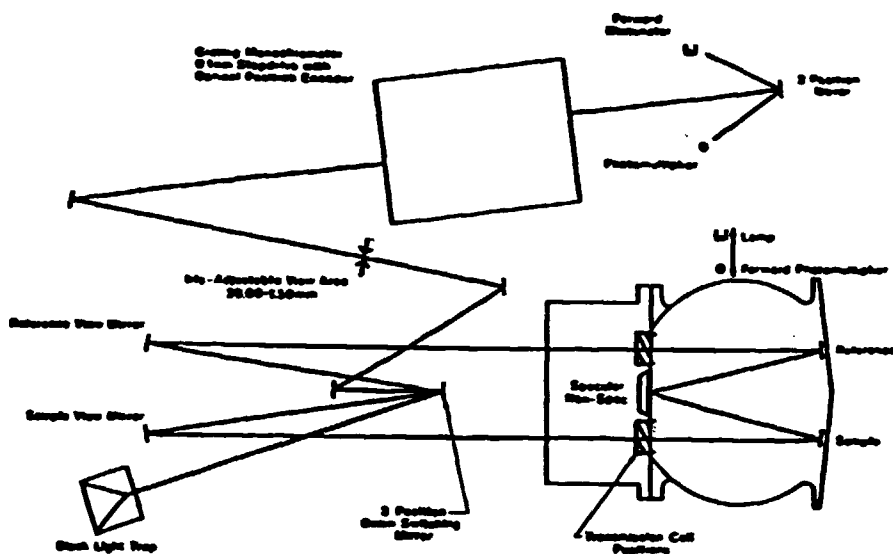


FIGURA 17

DIAGRAMA ÓTICO DO "MATCHSCAN" E DO "MATCHSCAN II" - ESPECTROFOTÔMETROS

Glossário da Figura:

- Forward illuminator = Dispositivo de iluminação para a frente
- Reference view mirror = Espelho de visão de referência
- Sample view mirror = Espelho de visão da amostra
- Black light trap = Armadilha de luz negra
- 2 position mirror = Espelho de duas posições
- Transmission cell positions = Posições da célula de transmissão
- Specular = Especular
- Non-spec = Não especular
- Lamp = Lâmpada
- Forward photomultiplier = Multiplicador para a frente
- Reference = Referência
- Sample = Amostra
- Photomultiplier = Fotomultiplicador
- 3 Position Beam Switching Mirror = Espelho Focalizador do Feixe com 3 posições
- Grating Monochromator = Monocromador
- Optical Position Encoder = Com Codificador da Posição Ótica

ner/Pacific Scientific.

### 3.2 - Um "Intermezzo": Instrumentos de Filtro

#### 3.2.1 - Colorímetros Tristimulus

A idéia da Colorimetria Tristimulus remonta aos tempos em que o Sistema CIE de especificação das cores ainda não tinha sido aceito de forma generalizada. Em 1928, TWYMAN e PERRY solicitaram uma patente para um Colorímetro Tristimulus e, em 1930, HUNTER desenvolveu o Reflectômetro de Uso Múltiplo, que incorporava 3 filtros aproximando as funções CIE (HUNTER, 1940).

Durante mais de 30 anos, daí por diante, o Colorímetro - Tristimulus passou a ser a alternativa simples, rápida e barata para os então complicados, lentos e caros espectrofotômetros. Embora a absoluta precisão dos instrumentos tristimulus tenha sido comprovadamente menor do que a dos bons espectrofotômetros, na área das diferenças de cor o primeiro era, até, tecnicamente superior.

Na metade dos anos 60, o preço do espectrofotômetro G.E. Hardy (ou o da Zeiss, modelo DMC 25) girava em torno de ..... US\$ 40 - 50,000, enquanto o colorímetro tristimulus podia ser comprado por um preço em torno de US\$ 3 - 5,000. Tal diferença de preço justificava a aplicação de colorímetros tristimulus ao invés de espectrofotômetros, sempre que isso era possível, a despeito das desvantagens decorrentes, como, por exemplo, a limitada precisão e a obtenção dos valores de X, Y e Z para apenas uma combinação de iluminante/observador com qualquer conjunto de filtros. A maior parte dos instrumentos apresentava, apenas, um conjunto, em geral o iluminante C - 2º para o observador, de modo que não havia possibilidade de detectar o metarismo.

Na segunda metade de 1979, houve algumas tentativas de comercializar um tipo especial de instrumento tristimulus: o baseado na medição espectral. O modelo MC 1010, da Macbeth, e o DATACOLOR 3500 pertenciam a esta classe.

Ambos mediam a reflectância espectral (a Macbeth com um conjunto de "flash" de xenônio - grade - detector e a DATACOLOR com cunhas de filtros de interferência), porém sem proporcionar valores espectrais (somente os valores de X, Y, Z). Tais instrumentos foram sucedidos em vencer as limitações dos instrumentos providos de filtros tristimulus, mas ofereciam tão pequena vantagem em termos de preço sobre a então nova geração de espectrofotômetros que tiveram vida curta.

### 3.2.2 - Espectrofotômetros com Filtros de Interferência

Alguns dos colorímetros tristímulos (como, por exemplo, o "Color Eye" da IDL e o "Erelpho" da Zeiss) podiam vir providos de filtros de interferência já na década de 50. A quantidade de medições manuais e de computações "inv." e "ved" impediram o amplo uso desses "espectrofotômetros abreviados" até quase o fim dos anos 60, quando a computadorização ofereceu a solução.

A Pretema, na Europa, e a Kollmorgen, nos EE.UU., foram as primeiras a dispor de espectrofotômetros totalmente computadorizados com 16 ou 33 filtros de interferência. Esses instrumentos apresentavam ajustamento de linha de 0 a 100, calibragem automática e o computador podia fazer todos os cálculos de cor necessários. Na primeira metade dos anos 70, este era o tipo mais popular de espectrofotômetro industrial e tais instrumentos (o "Automatic Color Eye", modelo KCS 18, da Kollmorgen, o modelo FS-3 e, em seguida, o FS-4, da Pretema, o RFC-3 e o RFC-16 da Zeiss) foram amplamente usados até o final da década.

Em 1970, a DATACOLOR, da Suíça, comercializou o primeiro espectrofotômetro dotado de um filtro de interferência contínua: o de cunha retangular. Este instrumento lançou um conceito revolucionário na área da Espectrofotometria industrial, porque o instrumento de cunha era muito mais rápido do que qualquer outro espectrofotômetro então disponível e apresentava a flexibilidade dos instrumentos de tipo de dispersão (monocromator) com vantagem de preço sobre os que usavam filtros. O diagrama óptico do DATACOLOR 7100 acha-se ilustrado pela Figura 19.

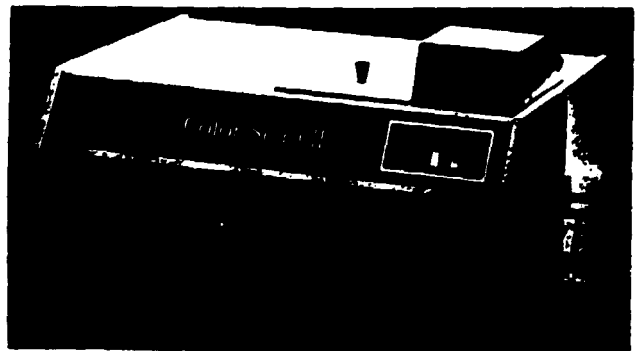
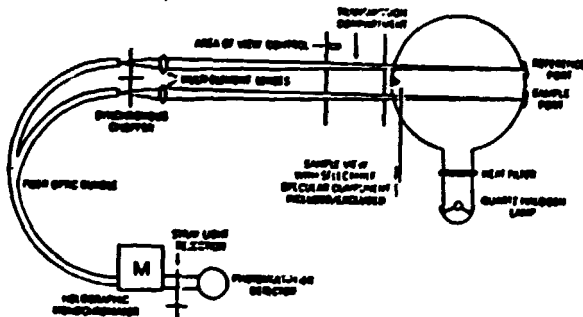


FIGURA 18  
DIAGRAMA ÓTICO E FOTOGRAFIA DO "COLOR SCAN II"  
(ESPECTROFOTÔMETRO DA MILTON ROY)

(vide Glossário na página seguinte)

Glossário da Figura 18

Transmission compartment = Compartimento de transmissão

Reference port = Janela de referência

Heat filter = Filtro de aquecimento

Quartz-halogen lamp = Lâmpada de quartzo-halogeno

Holographic monochromator = Monocromator holográfico

Synchronous chopper = Cortador sincronizado

Fiber optic bundle = Feixe de fibras óticas

Multi-element lenses = Lentes de multi-elementos

Area of view control = Área de controle da visão

Sample port = Janela para observação da amostra

Stray light rejector = Dispositivo de rejeição da luz

Photomultiplier detector = Detector fotomultiplicador

Sample view with selectable specular component included/excluded = Visão da amostra com componente especular selecionavel incluído/excluído

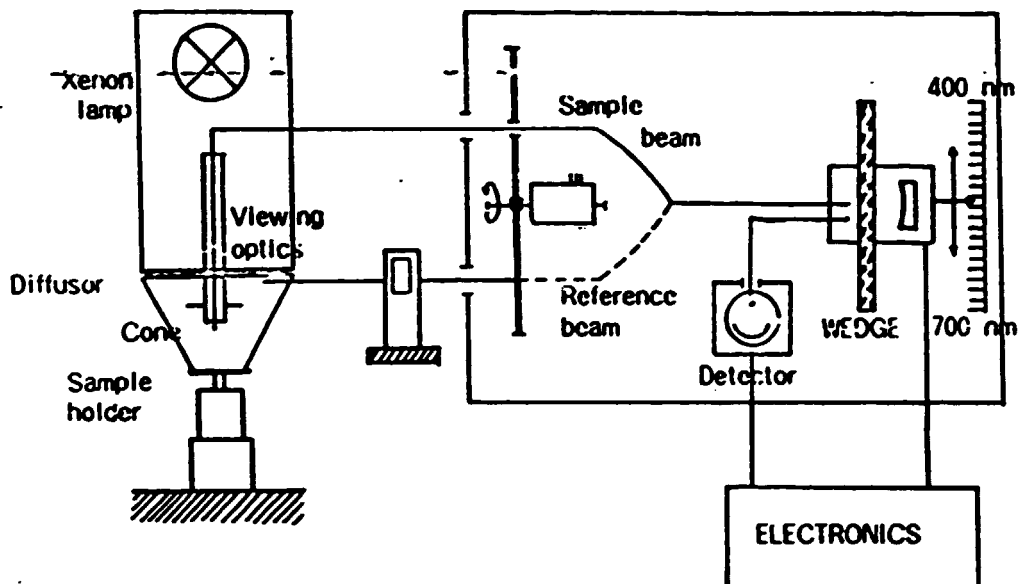


FIGURA 19  
DIAGRAMA ÓTICO DO ESPECTROFOTÔMETRO DATACOLOR  
MODELO 7100

Glossário da Figura:

Xenon lamp = Lâmpada de xenônio

Diffusor = Difusor

Sample holder = Suporte da amostra

Reference beam = Feixe de referência

Wedge = Cunha separadora

Viewing Optics = Ótica de observação

Electronics = Parte eletrônica

Sample beam = Feixe da amostra

Foi um instrumento de duplo feixe (com o sinal de referência tirado de uma parede de "esfera"), usando como fonte uma lâmpada de xenônio contínuo, um fotomultiplicador como detector e o seletor de comprimentos de onda construído com fibras óticas — outra novidade — movido por um motor de etapas controlado por computador. A geometria da medição também era fora do comum: difusa/0°, porém constituída por uma placa difusora por sobre um cone, com ausência da usual esfera integradora. Esta geometria do DATACOLOR foi usada, desde então, em seus instrumentos recomendados para a indústria têxtil.

Em 1976, dois outros fabricantes lançaram no mercado instrumentos que apresentavam cunhas de interferência: a Hunter e a IBM. Ambos apresentavam filtros giratórios (em forma de disco), possuindo todas as vantagens de um instrumento DATACOLOR, embora fossem mais rápidos: levava 17 segundos, o DATACOLOR; para medir 16 pontos (a cada 20 nr.), mas apenas um terço do tempo necessário para os instrumentos de filtro-disco. O instrumento Hunter também foi comercializado pela "Applied Color Systems" — ACS sob o nome de "Spectro-Sensor" como parte de seu sistema de combinação de cores.

Na gama atual de espectrofotômetros para a medição da cor, ainda existem 3 (fortemente relacionados) instrumentos que usam cunhas rotativas: o "Labscan II", da Hunter, o "Spectro-Sensor - II", da ACS (o único instrumento de feixe único ainda no mercado) e o mais recente, ou seja, o "Chroma-Sensor CS-5, da ACS (Figura 20).

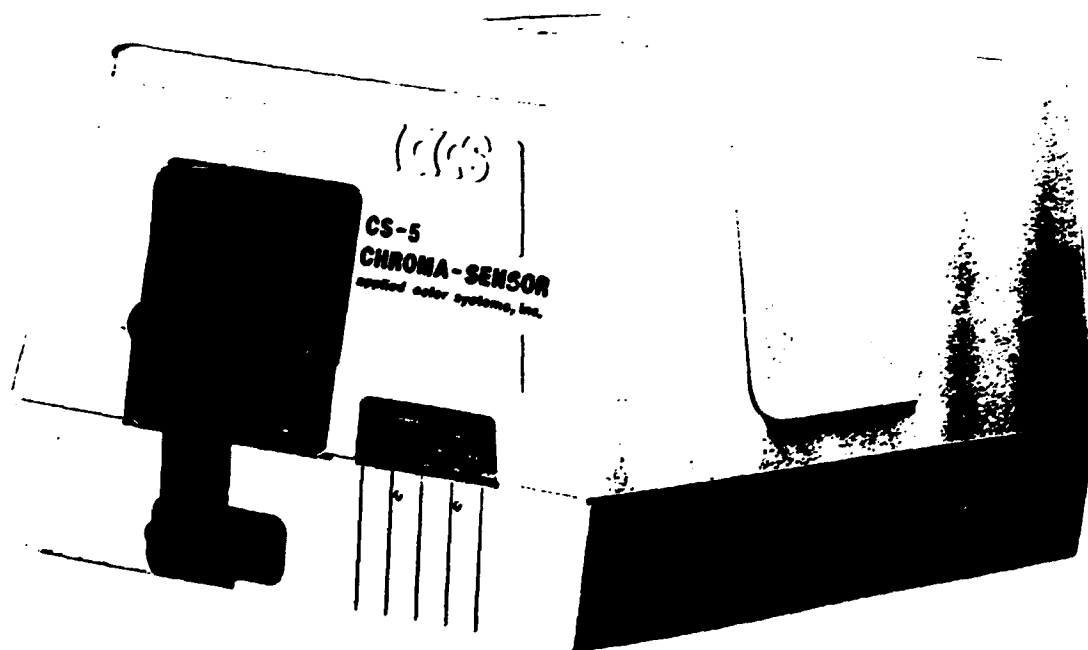


FIGURA 20

O "CHROMA-SENSOR" CS-5 DA "APPLIED COLOR SYSTEMS". A DISPOSIÇÃO ÓTICA É AQUELA ILUSTRADA NA FIGURA 14(B).

Existe um instrumento com filtro de interferência que goza de especial relevância no Brasil: o COLORFLASH, da Optronik, comercializado neste país pela "Mathis Ltda.", de São Paulo (Figura 21).

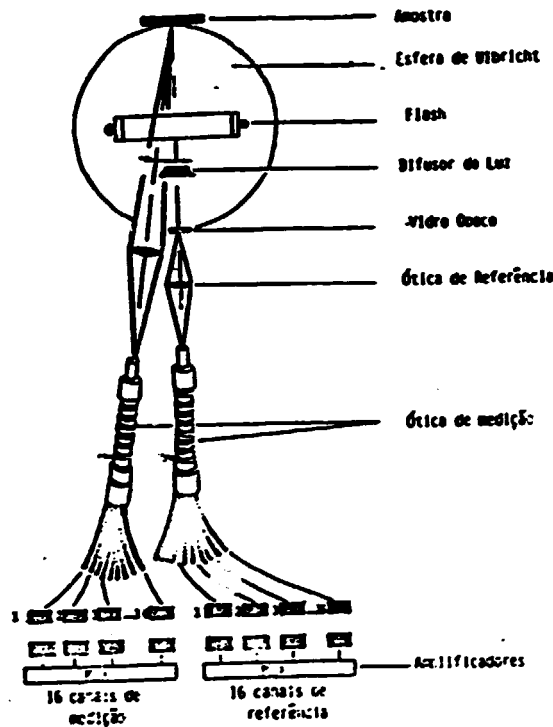


FIGURA 21

### DIAGRAMA ÓTICO DO ESPECTROFOTÔMETRO "COLORFLASH/MATHISCOLOR"

Este instrumento representa uma encruzilhada interessante entre os instrumentos discretos providos de filtros de interferência do passado e os instrumentos providos de detectores do presente e do futuro. Ele dispõe de uma fonte luminosa de "flash" de xenônio pulsante, com uma geometria d/8 ou 45/0 (circular), filtros de interferência 2\*16 e detectores 2\*16. É um sistema de duplo feixe, onde o sinal de referência é tirado da parede da esfera e é tratado do mesmo modo que o sinal de mensuração.

Os instrumentos de filtro, de um tipo ou de outro, foram usados, com sucesso, durante os últimos 50 anos. Eles foram particularmente úteis naqueles tempos, quando o preço (e também as desvantagens técnicas) dos espectrofotômetros não teri-

am tornado viável a medição industrial da cor. O aparecimento da última geração de instrumentos de grade-detector pôs um fim à era dos instrumentos de filtro, podendo os 50 anos que acabamos de mencionar serem considerados, tal como sugerido pelo título deste parágrafo, um "intermezzo" na história da instrumentação da cor.

### 3.3 - A Situação Atual: Conjunto de Grade e Detector

O ano de 1976 foi um bom ano para a instrumentação da cor. Além do DIANO "Matchscan", do DMC 26 e do "Spectrosensor" da Hunter/ACS, que já discutimos, apareceu um outro espectrofotômetro dotado de desenho radicalmente novo, aparelho esse que fez história. Foi o MS 2000, da Macbeth (Figura 22).

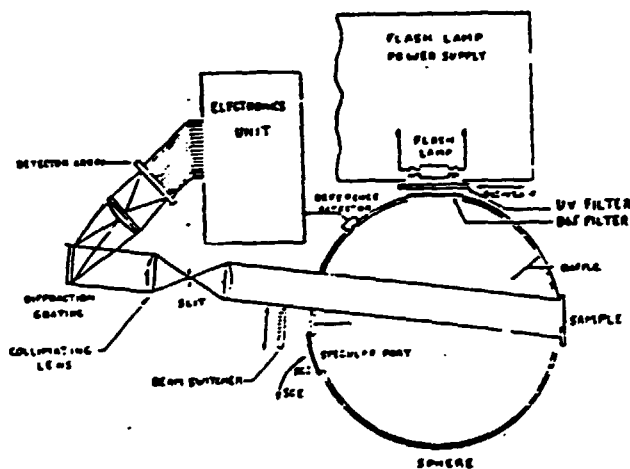


FIGURA 22

#### Glossário da Figura:

Detector array = Cortina de detectores

Electronics unit = Unidade de Eletrônica

Flash lamp power supply = Fonte de alimentação da lâmpada de flash

Specular port = Janela especular

Reference detector = Detector de referência

Filter = Filtro

Diffraction grating = Grade de difração

Collimating lens = Lente colimadora

Baffle = Amortecedor

Sample = Amostra

Slit = Ranhura

Beam switcher = Acionamento do feixe

O MS. 2000 foi o primeiro espectrofotômetro comercialmente disponível a usar uma iluminação a "flash" pulsante de xenônio e uma cortina de 16 diodos de silicone para a detecção. Sua geometria de medição é a de tipo padrão (d/8 com iluminação policromática) e constitui um instrumento de duplo feixe, com o sinal de referência extraído da parede da esfera.

Muitos especialistas no campo da instrumentação da cor receberam o instrumento cheios de dúvidas, sendo que até alguns deles chegaram a declarar que o mesmo não se tornaria um instrumento confiável porque (a) "nunca se poderá ter os flashes daquela fonte luminosa numa base repetitiva" e (b) "não é provável que 16 detectores possam ser calibrados uns em relação aos outros". Bem, no caso de instrumentos convencionais, estas alegações poderiam ser, certamente, justificadas. No entanto, em 1976, a Microeletrônica já havia atingido um estágio em que a calibragem dos instrumentos, inclusive a dos detectores individuais e dos "flashes" de xenônio, podia ser resolvida através dos "chips" embutidos no instrumento. É verdade, no entanto, que aqueles primeiros instrumentos eram menos confiáveis do que os que são fabricados hoje em dia, onde já existem poderosos computadores dotados de um "software" mais sofisticado, que asseguram uma repetitividade, uma reprodutibilidade e uma acurácia da mais alta ordem.

O MS 2000 (e sua Versão melhorada, o MS 2020) tornou-se o mais popular espectrofotômetro industrial de todos os tempos. Esses instrumentos não são apenas comercializados pela Macbeth em seus sistemas, mas também incorporados nos sistemas de combinação de cores da ICS-TeXicon, bem como numa certa quantidade de sistemas de combinação, medição e controle da qualidade da cor comercializada através de pequenas companhias especializadas (da Inglaterra, Suíça e Itália até o Extremo Oriente), e até mesmo por fabricantes de equipamentos de tingimento como a Vald.Heriksen ou a Benz.

Este instrumento é também de especial importância para o Brasil, porque foi o primeiro instrumento comercializado neste país pela COMEXIM Ltda., como parte de seu sistema de combinação de cores.

Existe também uma versão deste instrumento com geometria de 45/0 denominado MS-4045 para a medição da cor "on-line", onde as amostras (de tecidos ou de papel) em movimento são medidas com ausência de contato (Figura 23).

Um outro melhoramento foi o emprego de um "flash" de xenônio extremamente forte para a medição remota, em que o instrumento — o "Eagle-Eye", da Macbeth — pode ficar a uma distância aproximada de 20 pés da amostra.



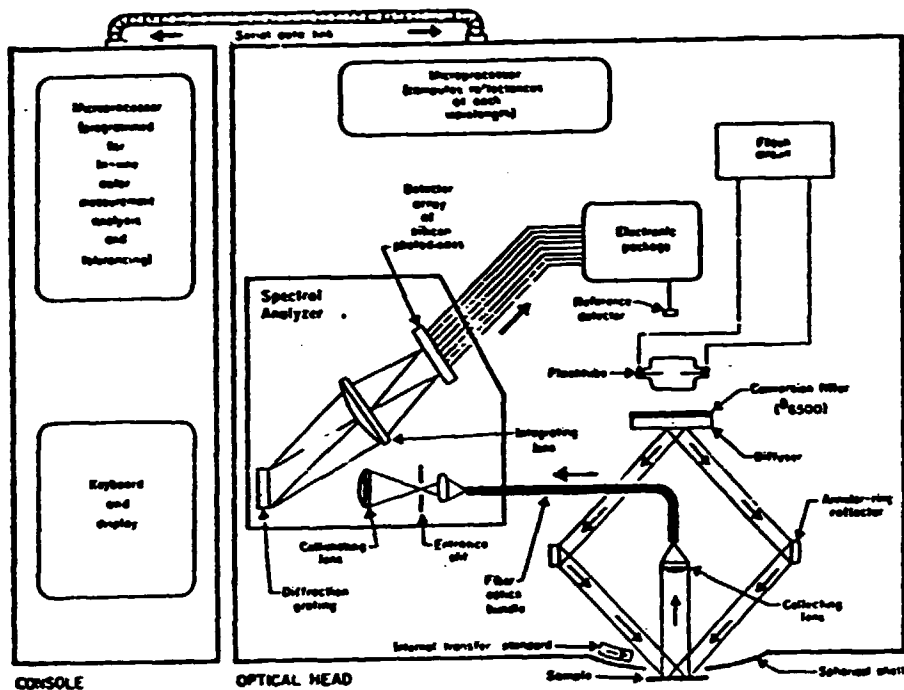


FIGURA 23

MEDICAO "ON-LINE" DA COR COM O MODELO MS-405

Glossário da Figura:

- Microprocessor (programmed for in-line color measurement analysis and tolerancing) = Microprocessador (programado para a análise da medição da cor)
- Keyboard and display - Teclado e tela
- Microprocessor (computes reflectances at each wavelength) = Microprocessador (computa reflectâncias a cada comprimento de onda)
- Spectral Analyser = Analisador espectral
- Collimating lens = Lentes colimadoras
- Diffraction grating = Grade de difração
- Integrating lens = Lente integradora
- Flash circuit = Circuito do flash
- Flash tube = Tubo do flash
- Fiber optics bundle = Feixe de fibras óticas
- Annular-ring reflector = Anel refletor
- Collecting lens = Lente coletora
- Entrance slit = Ranhura de entrada
- Internal transfer standard = Transferência interna do padrão
- Optical head = Cabecote ótico
- Spherical shell = Concha esférica
- Diffuser = Difusor
- Conversion filter = Filtro de conversão
- Detector array of silicon photodiodes = Cortina do detector feita de fotodiodos de silício

O eventual sucesso do Macbeth 2000 e de seus sucessores motivou quase todos os competidores a seguir o mesmo caminho, desenhando suas próprias versões de espectrofotômetros com detector de cortina:

### "APPLIED COLOR SYSTEMS (ACS)"

Esta companhia costumava fabricar seus sistemas de combinação de cores com os espectrofotômetros da Hunter. Agora, estão em caminhos separados e o último instrumento ACS, o "Chroma Sensor CS-3" é um instrumento tipo cortina, com grade holográfica e 32 diodos de silicone para uma sensibilidade, em paralelo, dos comprimentos de onda a cada 10 nm. É um genuíno instrumento de duplo feixe, com divisor de feixe luminoso, vindo o sinal de referência da parede da esfera com relação à fonte luminosa. Para conseguir este efeito, utilizou-se, como fonte luminosa, uma lâmpada de quartzo-halogeno-tungstênio (contínua) ao invés de um "flash" pulsante de xenônio. O modelo CS-3 acha-se disponível com geometria de esfera e também de 45/0 (Figura 24).

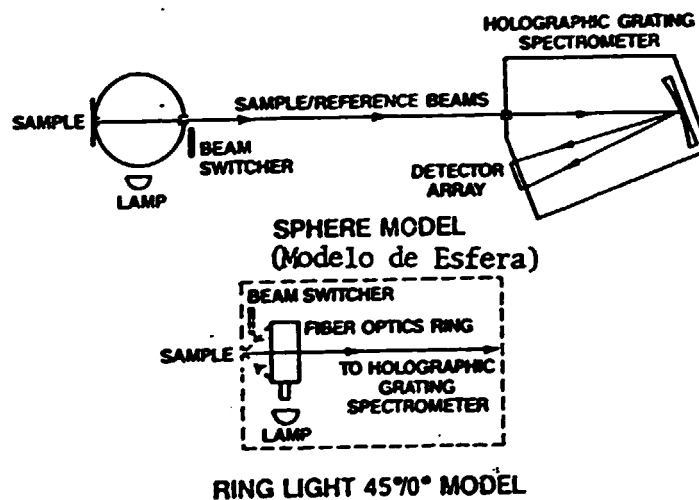


FIGURA 24

AS DUAS VERSÕES DO "CHROMA SENSOR CS-3" DA ACS

#### Glossário da Figura:

Lamp = Lâmpada

Sample = Amostra

Beam Switcher = Arionamento do feixe

Sample/Reference beams = Feixes da amostra e de referência

Fiber optics ring = Anel de fibras ópticas

To holographic grating spectrometer = Em direção ao espectrômetro holográfico

"DATACOLOR"

A "Datacolor", da Suíça, fabricou sua nova gama de espectrofotômetros com fonte luminosa de "flash" pulsante de xenônio, um monocromador de dupla grade e conjuntos correspondentes de diodos de silicone como detectores. A geometria da iluminação e da observação constitui uma geometria especial "Datacolor" para o modelo "TEXFLASH", D/8° para o modelo 3890 (Figura 24) e D/0° para o "Erelpho 2000".

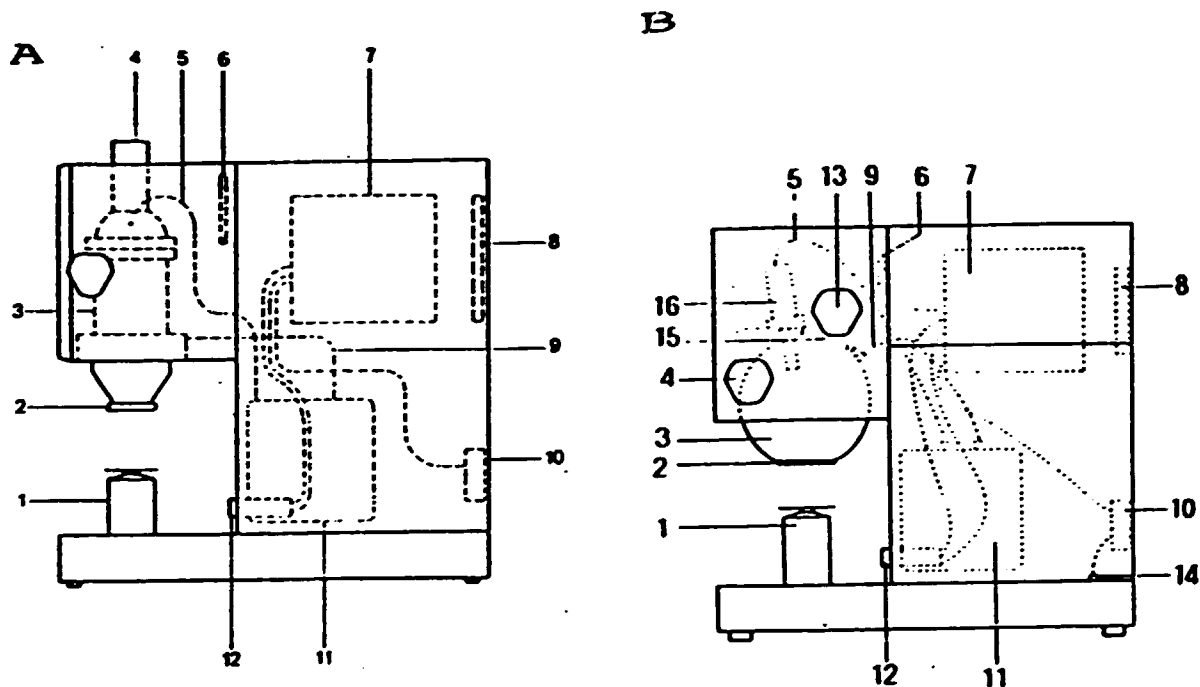


FIGURA 25

DIAGRAMAS FUNCIONAIS DO "TEXFLASH" DA DATACOLOR (A) E DO MODELO DC-3890 (B) — ESPECTROFOTÔMETROS

1 - Suporte da amostra; 2 - Diafragma de medição; 3 - Geometria da medição; 4 U/ajustagem do ponto de medição; 5 - Sinal das fibras óticas; 6 - Unidade de ignição; 7 - Unidade de processamento; 8 - Interface; 9 - Fibra ótica de referência; 10 - Fornecimento de energia para o aparelho; 11 - Monocromador; 12 - Zera-gem; 13 - Filtros; 14 - Terra; 15 - Janela especular; 16 - Ótica da observação.

Além de sua linha de instrumentos clássicos de varredura, a DIANO/Milton Roy dispõe de dois espectrofotômetros tipo grade. O "Color Graph", com fonte luminosa QTH e uma cortina de 32 diodos de silicone (sensibilidade 10 nm) pode ter tanto um desenho idêntico de ótica ao do "Color Scan II" (vide Figura 18) ou uma geometria de 45/0 com um sistema de 16 feixes - de fibras óticas (Figura 26).

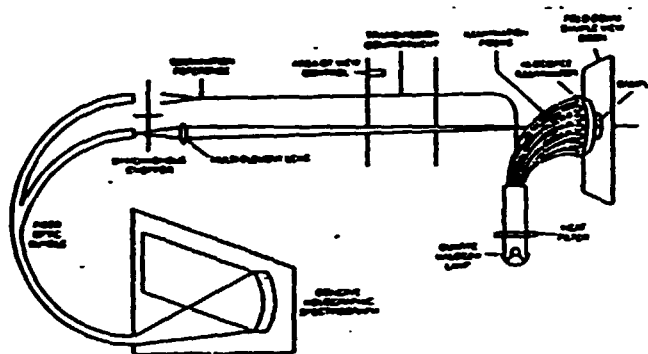


FIGURA 26

O "COLOR GRAPH" 45 DA DIANO/MILTON ROY

Glossário da Figura:

Illumination reference = Referência da iluminação

Illumination fibers = Fibras de iluminação.

Fiber optic bundle = Feixe de fibras óticas

Concave holographic spectrograph = Espectrógrafo holográfico concavo

Quartz-halogen lamp = Lâmpada de quartzo-halogeno

Heat filter = Filtro de aquecimento

Area of view control = Área de controle da visão

Multielement lens = Lente de multi-elementos

Synchronous chopper = Cortador sincronizado

Sample = Amostra

45 degree illuminator = Iluminador de 45 graus

Transmission compartment = Compartimento de transmissão

Esta companhia também dispõe de um instrumento dotado de fonte de iluminação à base de xenônio pulsante com 2\*16 detectores (um para a amostra e um para os canais de referência), dotados - ou de uma geometria D/8 ou de uma geometria 45/0, que se chama "ColorMate" (Figura 27).

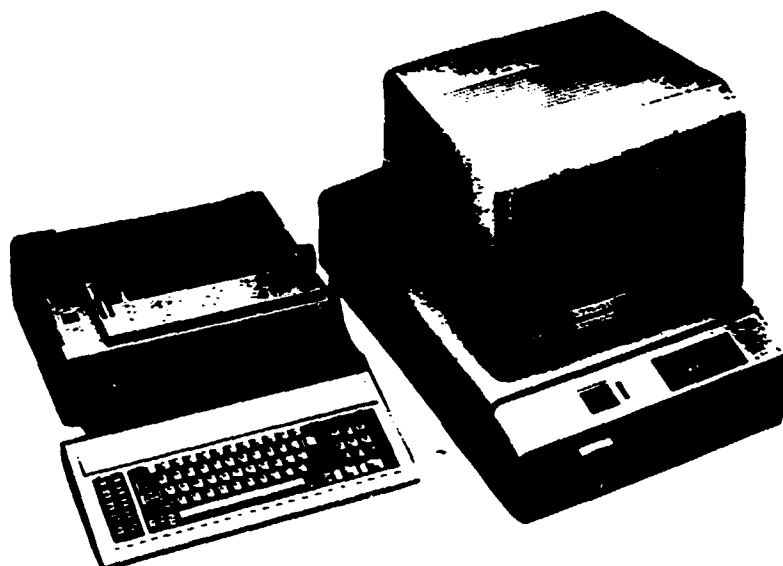


FIGURA 27

O ESPECTROFOTÔMETRO "COLORMATE" DA  
DIANO/MILTON ROY

#### GARDNER/PACIFIC SCIENTIFIC

Este fabricante lançou no mercado, recentemente, um espectro fotômetro interessante chamado "The Color Machine". É um ins<sup>tr</sup>umento dotado de fonte luminosa do tipo QHT (fonte contínua), com cortina de 32 diodos e iluminação em circunferência de 45° e observação normal (0°). A característica ímpar do cabeçote de medição é a inclusão de uma medição, a 60°, do brilho, que pode ser feita sem remover a amostra, ou seja, as leituras de brilho e espectral podem ser extraídas do mesmo ponto. O ins<sup>tr</sup>umento também se acha disponível em versão de esfera, caso em que se denomina "The Color Sphere".

#### HUNTER ASSOCIATE LABORATORY

Este fabricante oferece o "ColorQUEST", um espectrofotômetro com iluminação QHT, grade e cortina de diodos (10 nm), basicamente para o controle de qualidade, seja com tecnologia de esfera ou com geometria de 45/0. O "UltraScan" é o primeiro instrumento de cortina detectora com 72 diodos de silicóne, efetuando medições a cada 5 nm possíveis.

O espectrofotômetro KEILTRONIX KMS-23 é semelhante ao "ColorQuest" com fonte QHT, grade, arranjo de diodos (10 nm) e ge

ometria d/8.

As principais características dos espectrofotômetros atualmente disponíveis acham-se resumidas no Anexo 1.

Quando se compara o desenho destes instrumentos àqueles que se encontravam disponíveis anteriormente, observa-se que a tendência dominante parece ser clara. Para a especificação da cor com a mais alta precisão, para tarefas especiais relacionadas com a pesquisa e trabalhos de desenvolvimento, o desenho clássico (fonte de quartzo-tungstênio-halogeno, monocromador de grade, detector fotomultiplicador, varredura contínua, eventualmente com ótica reversa e duplo feixe) ainda se encontra imbatível. Para a Espectrofotometria industrial é a combinação grade - cortina de detectores que oferece o maior número de vantagens, hoje com pouquíssimos compromissos. É relativamente barato, rápido, robusto e adequado para toda e qualquer tarefa especial. Exatamente o desenho que a instrumentação da cor assumirá no próximo século.

#### 4. SISTEMAS DE COMBINAÇÃO DE CORES

Os espectrofotômetros utilizados para a medição da cor são raramente aparecem como unidades isoladas e independentes. Eles, normalmente, fazem parte de um sistema de combinação de cores ou de controle computadorizado da qualidade. Em nossos dias de computadores pessoais poderosos e relativamente baratos, a questão não é saber se o "hardware" se encontra disponível (normalmente está), mas quão bom é o pacote do "software".

Os sistemas disponíveis concebidos pela maior parte dos fabricantes acham-se resumidos em seguida (vide endereços no Anexo 2):

<u>FABRICANTE</u>	<u>INSTRUMENTO</u>	<u>"SOFTWARE" P/AplicaçãO TEXTIL</u> <u>CQ</u>	<u>COMBINAÇÃO</u>
Applied Color Systems	Hunter/próprio	sim	sim
COMEXIM	Macbeth	sim	sim
DATACOLOR	próprio	sim	sim
DIANO/Milton Roy	próprio	sim	sim
GARDNER/Pacific Scient.	próprio	sim	não
HUNTER Associates	próprio	sim	não
ICS-Texicon	Macbeth	sim	sim
KEILTRONIX	próprio	sim	sim
MACBETH	próprio	sim	sim
MATHIS	Optronik	sim	sim (BASF)
OPTRONIK	próprio	sim	sim

É difícil superestimar o significado do "software" do sistema. Mesmo o desempenho do espectrofotômetro pode ser melhorado através de um "software" adequado: a repetitividade, a reprodutibilidade e a precisão de um mesmo instrumento podem ser muito melhores quando acionadas por um "software" sofisticado.

Além dos cálculos colorimétricos básicos, os pacotes de "software" avançados incluem uma ou duas fórmulas de tolerância (as agora padronizados CMC, M&S ou equivalentes) para a escolha de cores e instalações que facilitam a busca na biblioteca de cores, uma ou mais fórmulas para a comparação da resistência do tingimento com relação à profundidade do tom e programas de combinação de cores (fórmulas de corantes) com o controle dos tingimentos de calibragem; cálculo automático das receitas alternativas; escolha de receitas de acordo com o custo, metamerismo e DE mínimo para quaisquer iluminantes selecionados, correção de partidas de tingimento, misturas de fibras, fórmulas para fibras misturadas, etc.

De vez que o "hardware" do computador constitui, apenas, um fator de pequena monta no preço de um sistema, os fabricantes tendem a oferecer pacotes de "software" além da medição da cor e da previsão da combinação, porém ainda com relação às atividades diárias de uma Tinturaria. Esses "programas de produção" podem incluir o controle por computador da pesagem dos corantes, o controle do estoque dos corantes, dos produtos químicos, dos panos crus e dos artigos acabados, a impressão de cartões de trabalho, etc. Em muitos casos, o computador encarregado da combinação de cores também pode acionar os controles do processo na Tinturaria. Este conceito de "Total Gerenciamento da Cor" está ganhando terreno num número cada vez maior de Tinturarias e espera-se que se torne prática diária antes da virada do século.

##### 5. DESEMPENHO E ESPECIFICAÇÕES DA INSTRUMENTAÇÃO DA COR PARA A INDÚSTRIA TÊXTIL

A especificação e a seleção do instrumento de medição da cor quanto ao sistema de combinação de cores constituem um longo e cansativo processo, em que o desempenho técnico do instrumento, as características do "hardware" e do "software" do computador e o apoio técnico e a aplicação oferecidos por diferentes fabricantes precisam ser comparados uns com os outros, sem esquecer os requisitos do usuário, que precisam ser formulados cuidadosa e detalhadamente.

No Anexo 3 fornecemos algumas linhas-mestras em termos de orientação para a especificação dos espectrofotômetros de reflectância, bem como o "hardware" e o "software"

necessários ao computador. Os requisitos "mínimos" apontados de verão satisfazer àqueles da maioria das Tinturarias, ficando as opções necessárias ao trabalho diária numa fábrica fora delas.

## 6. CONCLUSÃO

No curso dos últimos 15 anos, a instrumentação da cor avançou desde o ponto em que os instrumentos quase não eram adequados para a medição industrial da cor até um patamar onde já estão muito melhores do que as amostras que medimos. Os sistemas de combinação de cores serão usados não apenas para a especificação das cores, para o controle de qualidade e para a previsão de combinações, mas também para ajudar o gerente da Tinturaria em todas as suas atividades. Os instrumentos, os computadores e os pacotes de "software" acham-se todos disponíveis para o gerenciamento total da cor, ficando a nosso critério, como tintureiros, estampadores e coloristas fazer deles o melhor uso.

### Agradecimentos

O autor gostaria de agradecer a todos os fabricantes pelas informações relacionados com seus respectivos modelos de aparelhos. Agradecimentos especiais à COMEXIM Ltda (São Paulo), à DATACOLOR AG (Zurique), à DIANO/Milton Roy (Oostende), à GARDNER/Pausch Farbmesstechnik (Hann/Düsseldorf), à ICS-Texicon (Newbury) e à Mathis Ltda. (São Paulo) pela possibilidade que proporcionaram de estudar seus instrumentos e sistemas em suas fábricas.



**APÊNDICE 1**  
**PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS ESPECTROFOTÔMETROS AGORA**  
**ENCONTRADOS NO MERCADO**

<u>FABRICANTE E TIPO</u>	<u>FONTE</u>	<u>SELETOR DO COMPR. DE ONDA</u>	<u>DETECTOR</u>	<u>GEOMETRIA</u>
<u>APPLIED COLOR SYSTEMS</u>				
Spectro-Sensor II	QTH	Cunha -IF	2 diodos	d/8
Chroma-Sensor CS5	QTH	Cunha -IF	2 diodos	d/8
Chroma-Sensor CS3	QTH	Grade	Cortina/10 nm	d/8 ou 45/0
<u>DATACOLOR</u>				
Elrepho 2000	X-flash	Grade	Cortina/20 nm	d/0
DC 3890	X-flash	Grade	Cortina/20 nm	d/8
Texflash	X-flash	Grade	Cortina/20 nm	d/0 especial
<u>DIANO/MILTON ROY</u>				
MatchScan II (c/ótica reversa)	QHT	Grade	PMT	d/6.5 (poli/mo- no)
Color Scan II	QHT	Grade	PMT	d/6.5 ou 45/0
Color Graph	QHT	Grade	Cortina/10 nm	d/6.5 ou 45/0
Color Mate	X-flash	Grade	Cortina/20 nm	d/8 ou 45/0
<u>GARDNER/PACIFIC SCIENTIFIC</u>				
Spetrogard II	QHT	Grade	Diodo	d/8
The Color Machine (TCM)	QHT	Grade	Cortina/10 nm	45/0 (+60° bri- lho)
The Color Sphere (TCS)	QHT	Grade	Cortina/10 nm	d/8
<u>HUNTERLAB</u>				
LabScan II	QHT	Cunha-IF	PMT	0/45
ColorQUEST	QHT	Grade	Cortina/10 nm	d/8 ou 45/0
UltraScan	QHT	Grade	Cortina/5 nm	d/8
<u>KEILTRONIX</u>				
KMS-23	QHT	Grade	Cortina/10 nm	d/8
<u>MACBETH</u>				
MS 2020/4045	X-flash	Grade	Cortina/20 nm	d/8 resp. 45/0
<u>OPTRONIK</u>				
Colorflash	X-flash	Filtros IF 2*16	Diodos 2*16	d/8 ou 45/8

ANEXO 2

LISTA DE FABRICANTES DE SISTEMAS DE COMBINAÇÃO DE COR

APPLIED COLOR SYSTEMS (ACS)

Princeton, N.J., USA

DATACOLOR AG

Brandbachstrasse 10,  
CH-8305 Dietlikon, SWITZERLAND

DIANO/Milton Roy

Boston, Mass., USA

TCS-TEXICON

Kennetside Park Ind. Estate,  
Newbury, Berkshire RG14 5TE, ENGLAND

MAGBETH, Div. of KOLLMORGEN Corp.

Newburgh, N.Y., USA

KEILTRONIX Corp.

USA

COMEXIM Matérias-Primas Ind. e Com. LTDA

Av. Casa Verde, 2346/50 - Casa Verde -  
CEP 02520 - São Paulo

ESPECIFICAÇÕES

## ANEXO 3

para um sistema de MEDIÇÃO DE COR E PREDIÇÃO DE COMBINAÇÃO (FORMULAÇÃO DE RECEITA) para aplicações na indústria têxtil.

	<u>MÍNIMO</u>	<u>OPÇÕES CONSIDERADAS COMO VANTAGEM</u>
<b>1 - ESPECTROFOTÔMETRO DE REFLECTÂNCIA</b>		
<u>Límite:</u>	400-700 nm	próximo UV e IR
<u>Intervalo:</u>	cada 20 nm	cada 10 ou 5 nm
<u>Diâmetro de amostra:</u>	10 mm e acima	1-5 mm e acima
<u>Tempo de 1 medição:</u>	3-4 s ou abaixo	1-2 s ou abaixo
Performance (medida em azulejos BCRA-NPL, médias para 12 azulejos)		
<u>Acurácia:</u>	DE* < 0,5	
<u>Reprodutibilidade:</u>	DE* < 0,2	
<u>Repetibilidade:</u>		
<u>prazo curto:</u>	DE* < 0,05	
<u>prazo longo (1. ano):</u>	DE* < 0,1	
<u>Modos de medição:</u>	UV incl./excl. especular incl./excl.	
<b>2 - EQUIPAMENTO DO COMPUTADOR</b>		
<u>Unidade Central de Processamento:</u>	80286 ou compatível	80386 ou compatível
<u>Unidade de disco flexível:</u>	512 KB RAM expandível 5 1/4" simples	1 MB RAM expandível 5 1/4" duplo
<u>Unidade de disco rígido:</u>	20 MB expandível	40 MB expandível
<u>Frequência do relógio:</u>	6/8 MHz	10 MHz ou mais alto
<u>Monitor:</u>	monocromático	colorido, gráficos
<u>Impressora:</u>	80 colunas	132 colunas, gráficos
<u>Hapeador:</u>	não	sim

ESPECIFICAÇÕES (CONT.)3. PROGRAMAS DE APLICAÇÃO DE MEDIÇÃO DA COR E PREDIÇÃO DA COMBINAÇÃOMedição:

sistema de calibração automática;  
medições múltiplas, cálculos de médias.

Cálculo e/ou armazenagem de:

reflectância;  
K/S  
CIE 2º e 10º XYZ para  
Iluminantes D65, A, CWF e TL 84;  
CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $H^*$  para os mesmos.

Diferença de cor/fórmula de tolerância:

CIELAB  $\Delta E^*$ ,  $\Delta L^*$ ,  $\Delta C^*$ ,  $\Delta H^*$ ;  
CMC (1:c);  
M&S 83 ou última versão, ou fórmula de  
tolerância equivalente.

Classificação de cor, biblioteca de cor:

555 ou sistema equivalente.

Comparação direta.Predição de combinação (formulação de receita):

checagem dos tingimentos de calibração  
(disposição de curvas);  
cálculo (combinatório) automático;  
classificação de receitas combinando com  
custo mais baixo,  
mínimo metamerismo,  
mínimo DE para iluminante selecionado;  
correção da partida;  
formulação para misturas.

4. DOCUMENTAÇÃO (em Português, Inglês aceitável)

Total descrição do equipamento para todos os componentes do sistema: es-  
pectrofotômetro e computador, manuais do usuário para os mesmos; manu-  
al do sistema com instruções do usuário detalhadas.

## ESPECIFICAÇÕES (CONT.)

### 5. ABASTECIMENTO DE FORÇA ININTERROMPÍVEL

O sistema deveria ser entregue com uma unidade UPS, capaz de

- (a) operar o sistema por no mínimo 1/2 hora depois de uma eventual queda de força, para que a operação do sistema não seja interrompida e todas as operações possam ser seguramente concluídas; e
- (b) filtrar qualquer pico eventual no abastecimento de força.

### 6. PADRÕES DE COR

A cotação para o sistema deveria incluir os seguintes padrões de cor:

- (a) 1 conjunto de BCRA azulejos coloridos (12 cores), calibrados pelo Laboratório Físico Nacional (NPL) Reino Unido;
- (b) 1 Livro de Cores MUNSELL, amostras brilhantes;
- (c) 1 Ficha de Cores MUNSELL, amostras
- (d) 10 (dez) conjuntos de estudante MUNSELL.

### 7. OPÇÃO PARA PESAGEM CONTROLADA

A possibilidade de conectar balanças eletrônicas ao sistema deveria ser indicada na cotação. O preço dos programas para pesagem controlada deveriam ser cotados separadamente.

### 8. Treinamento, instalação, partes sobressalentes

O preço para todo treinamento do operador (2 ou 3 pessoas), instalação e partes sobressalentes deveria ser cotado separadamente.

"Theoretical knowledge alone cannot make a successful color mixer, but it certainly proves of great value in explaining the true causes of failure and in directing the conditions which lead to success."

(Puterson, 1900)

**COLOUR MEASUREMENT AND  
COLOUR MATCH PREDICTION  
IN THE TEXTILE INDUSTRY**

**SENAI/CETIQT Seminar held at  
Lafite, BRUSQUE, SC (24-28 July, 1989)  
SENAI school in BLUMENAU, SC (31 July to 4 August, 1989)**

**Lecture notes compiled by  
dr. Robert Hirschler  
UNIDO expert**

Note:

Pages 10-12 have been removed,  
the same information in more detail  
is given in ANNEX 3.2

**PROGRAM**

- First day**      The specification of colour, colour order systems. The physics and psychophysics of colour: light sources, illuminants.
- Second day**    How materials modify light, selective absorption, scattering and reflection of light. The measurement of reflectance: colour measuring instruments.
- Third day**      Colour vision and the human eye. The CIE system of colour measurement, metamerism.
- Fourth day**     Uniform colour spaces, colour differences, colour tolerances. Colour sorting. Factors influencing the colour of dyed textiles.
- Fifth day**      Colour matching, computer aided colorant formulation. Colour matching systems.

# 1. THE SPECIFICATION OF COLOUR

## The MUNSELL system

Hue: that quality of colour which we describe by the words red, yellow, green, blue, etc. (what the dyer calls the shade).

Value: that quality of colour which we describe by the words light, dark, etc., relating the colour to a grey of similar lightness.

Chroma: that quality which describes the extent to which a colour differs from a grey of the same value (the "amount of colour", related to, but not the same as either brightness or depth of shade).

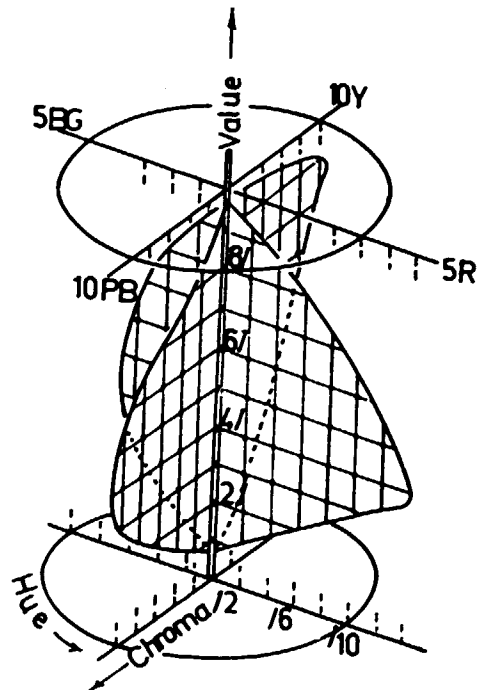
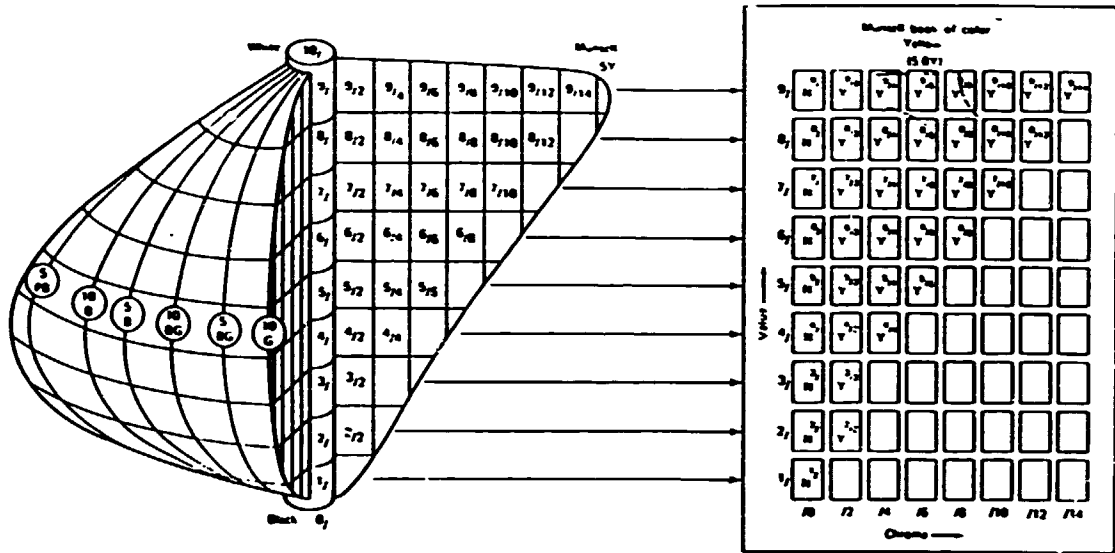
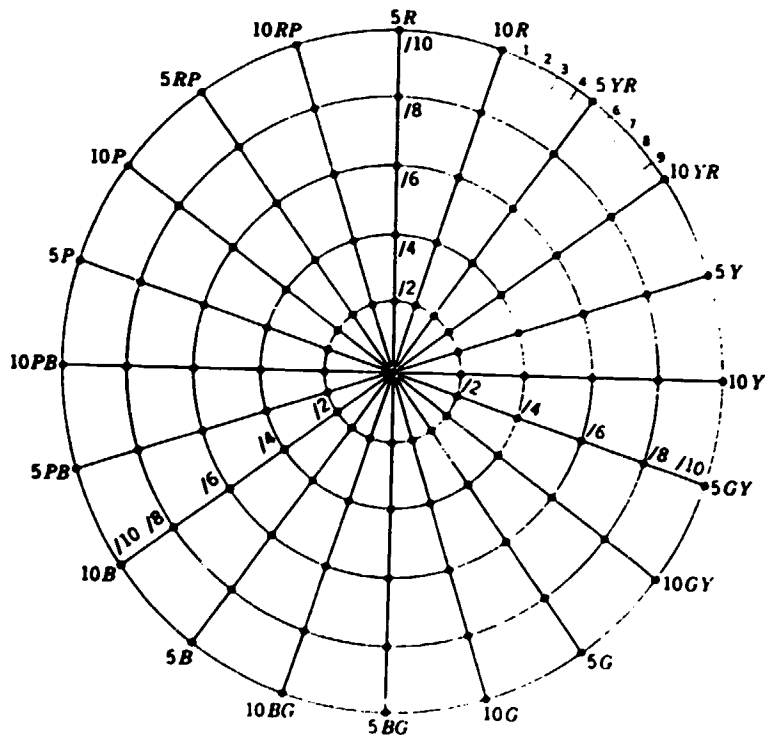


Figure 1. In the MUNSELL system colours are arranged by Hue in a hue circle, by Value or lightness from top (white) to bottom (black), and by Chroma or saturation according to distance out from the neutral axis.

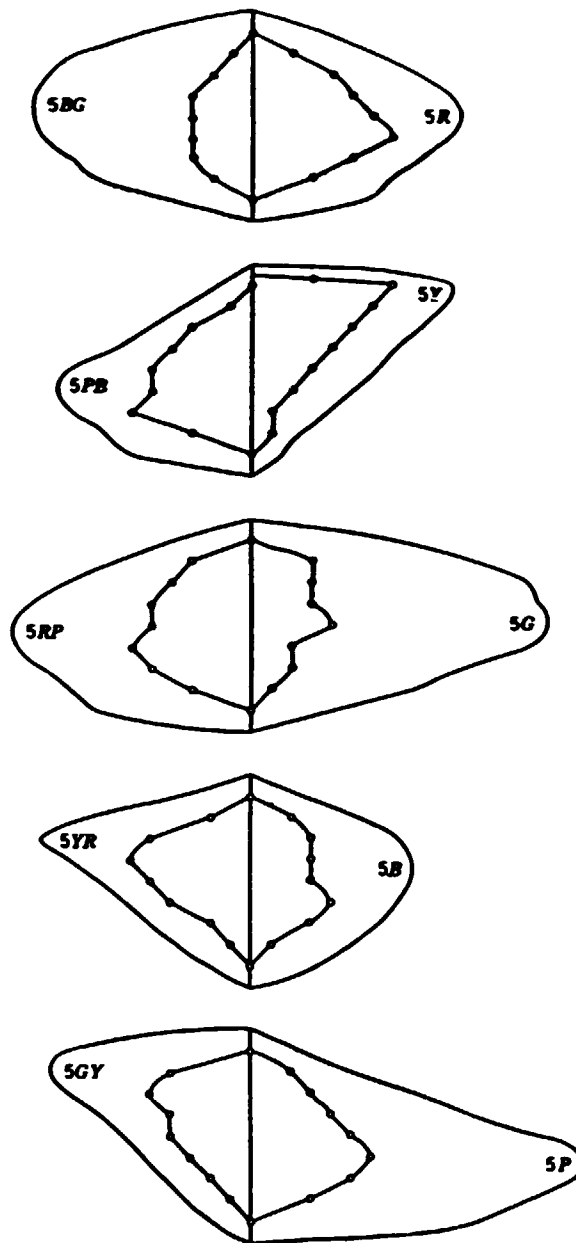




**Figure 2.** The interior of the MUNSSELL colour solid (colour tree). A quarter of the solid model has been removed to reveal an interior face representing colours of constant Hue, i.e. colours that vary only in Value and Chroma. In the MUNSSELL Book of Colour this is a constant Hue chart (page).



**Figure 3.** A horizontal section of the MUNSSELL colour solid. Colours in this plane vary in Hue and Chroma, but not in Value, this is a constant Value chart.



**Figure 4.** Vertical cross sections of the MUNSELL colour solid. The inner boundary represents the limit of the gamut of colours actually given in the Munsell Book of Colour; the outer boundary is the theoretical limit of object-colour stimuli.

Arrangement of attributes in colour space

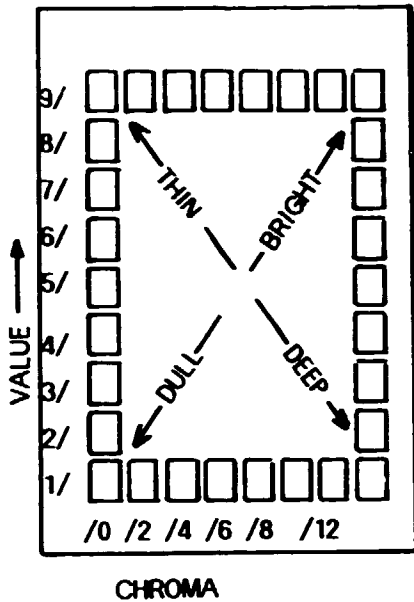


Figure 5. (a)

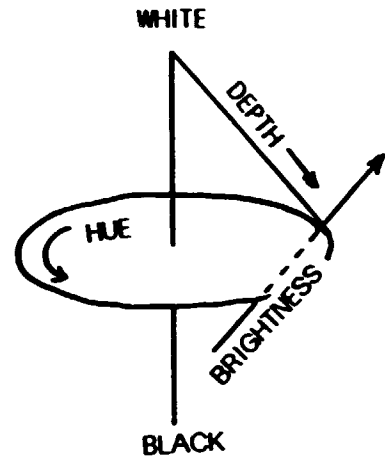


Figure 5. (b)

The dyers' attributes of brighter (more vivid) - duller (flatter) and deeper (stronger) - thinner (weaker) illustrated on a constant Hue chart (a) and the corresponding colour space of hue-brightness-depth (b).

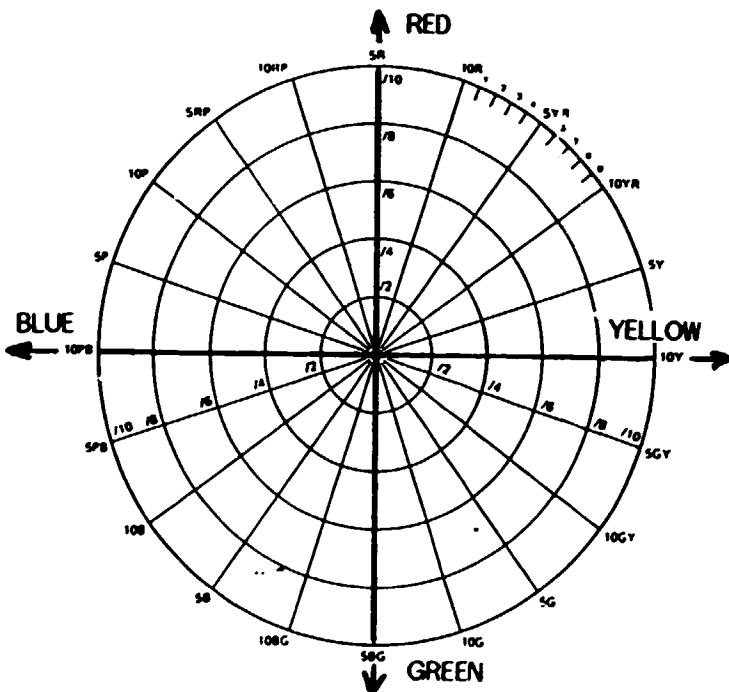


Figure 6. (a)

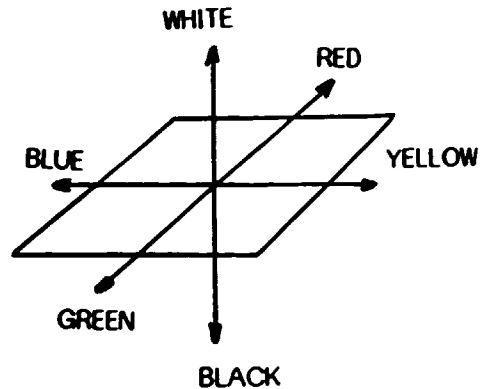


Figure 6. (b)

The "opponent-colours" diagram illustrated on a constant Value chart (a), and the corresponding colour space of lightness-redness/greenness-yellowness/blueness.

### Levels of colour specification

Level of Fineness of Color Designation	Color Name Designations			Numerical and/or Letter Color Designations		
	Level 1 (least precise)	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Level 6 (most precise)
Number of Divisions of Color Solid	13	29	267*	943-7056*	≈100,000	≈5,000,000
Type of Color Designation	Generic hue names and neutrals (See circled designations in diagram below)	All hue names and neutrals (See diagram below)	ISCC-NBS All hue names and neutrals with modifiers (NBS-C553)	Color-order Systems (Collections of color standards sampling the color solid systematically)	Visually interpolated Munsell notation (From Munsell Book of Color)	CIE (x,y,Y) or Instrumentally Interpolated Munsell Notation
Example of Color Designation	brown	yellowish brown	light yellowish brown (centroid #76)	Munsell 1548* 10YR 6/4**	9½ YR 6.4/4½**	x = 0.395 y = 0.382 Y = 35.6% or 9.6YR 6.4/4.3**
Alternate Color-Order Systems Usable at Given Levels				SCCA 216* (9th Std.) 7C128 HCC 800* H407	M&P 7056* (1st Ed.) 12H6 Plochere 1248* 180 0 5-d Ridgway 1115* XXIX 13 "b CHM 943* (3rd Ed.) 3 gc	
General Applicability						

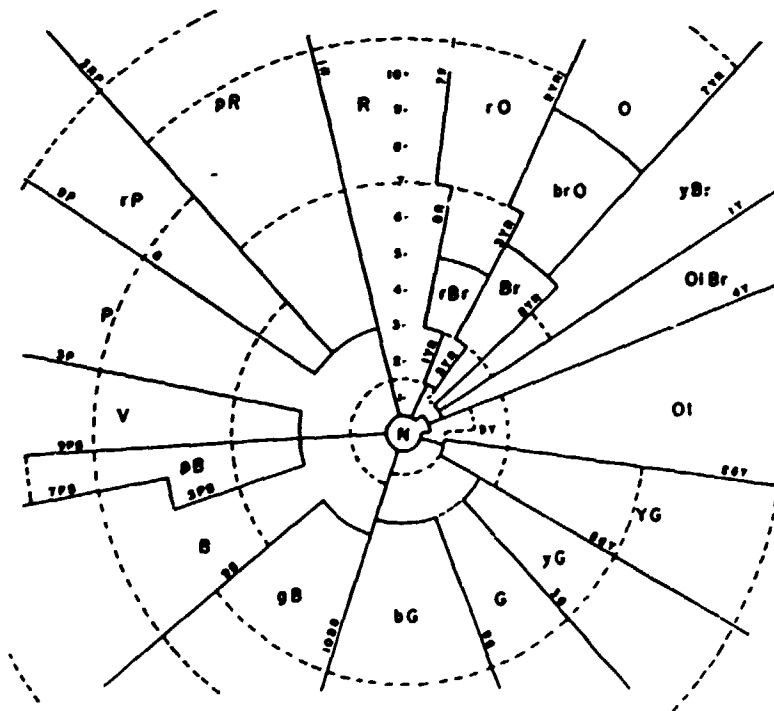
\* Figures indicate the number of color samples in each collection.  
 \*\* The smallest unit used in the Hue, Value and Chroma parts of the Munsell notation in Levels 4 (1 Hue step, 1 Value step and 2 Chroma steps), 5 (½ Hue step, 0.1 Value step and ½ Chroma step) and 6 (0.1 Hue step, 0.05 Value step and 0.1 Chroma step) indicates the accuracy to which the parts of the Munsell notation are specified in that Level.

Figure 7. Schematic diagram illustrating the 6 levels of the Universal Colour Language

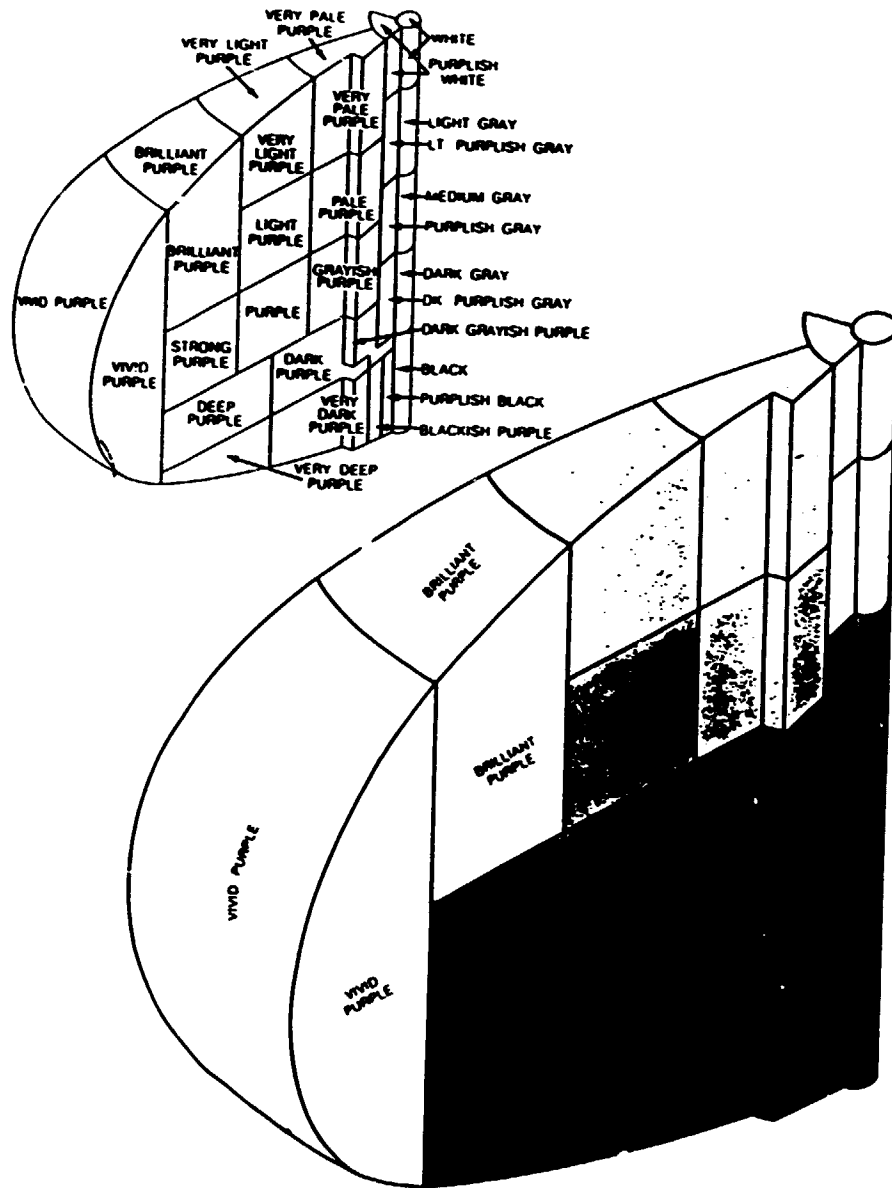
Lightness (Munsell Value)	white	very pale (v.p.)	very light (v.l.)	brilliant (brill.)	vivid (v.)
	light gray (l.g.)	pale (p.)	light (l.)		
	medium gray (m.g.)	light grayish (l.gy.)	moderate (m.)	strong (s.)	
	dark gray (d.g.)	dark grayish (d.gy.)	dark (d.)	deep	
	blackish (bl.)	blackish (bl.)	very dark (v.d.)	very deep (v.deep)	
	black (bl.)				

Saturation (Munsell Chroma)

**Figure 8.** Scheme of the hue modifiers, the "-ish" grays and the neutrals with their modifiers illustrated on the MUNSSELL constant Hue chart.



**Figure 9.** UCL hues on a MUNSSELL constant Value chart for Value 4.75/.



**Figure 10.** A three-dimensional illustration of the ISCC-NBS [Universal Colour Language] colour-name chart for purple, showing the colour-name block structure.

# THE PHYSICS AND PSYCHOPHYSICS OF COLOUR

## Visible light, the spectrum

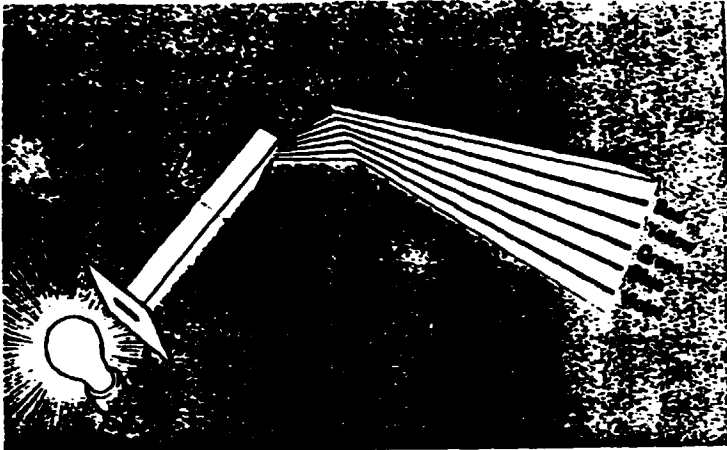


Figure 11. Dispersing white light into a spectrum.



Figure 12. The visible spectrum and its relation to other kinds of radiation.

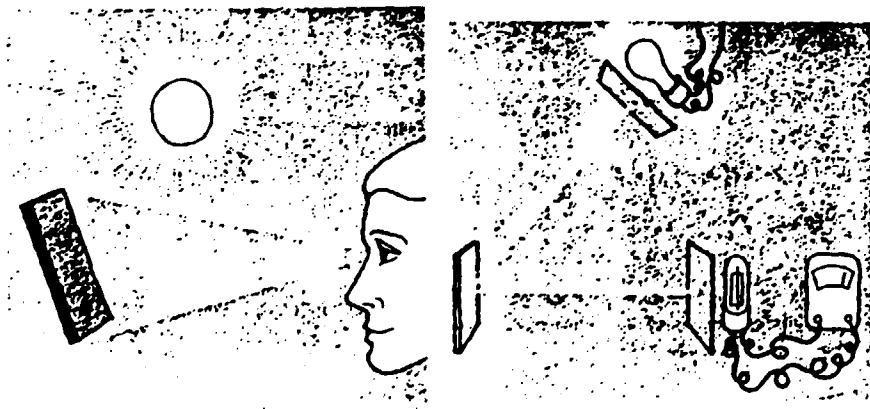


Figure 12. (a)

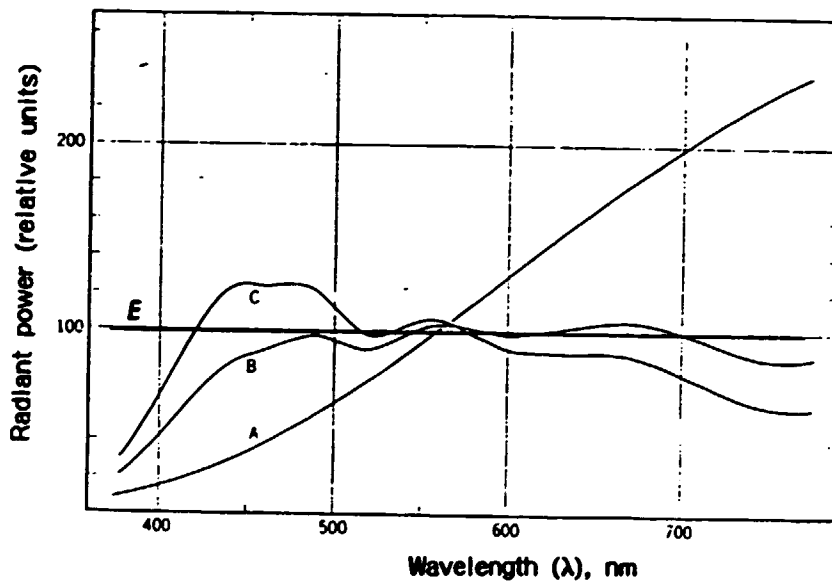
Figure 12. (b)

A source of light, an object and the eye and the brain (a), or a source of light, an object and a photoelectric detector and meter (b) are required to produce colour.

## Light sources and illuminants

**Source:** A physically realizable light, whose spectral energy distribution can be experimentally determined. When the determination is made and specified, the source becomes a standard source.

**Illuminant:** A light defined by a spectral energy distribution, which may or may not be physically realizable as a source. If it's made available in physical form, it becomes a standard source.



**Figure 13.** Relative spectral power distribution of CIE standard Illuminants A, B, C, and the hypothetical "equal energy spectrum" E.



### How materials modify light

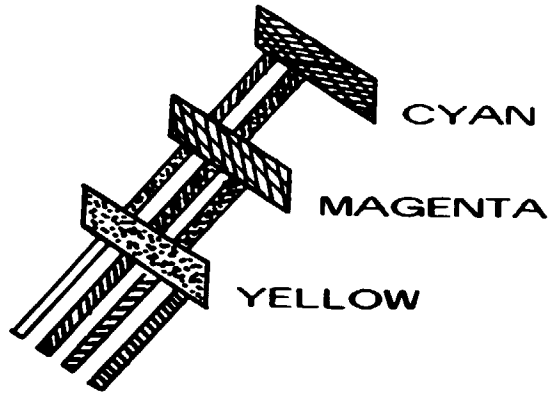


Figure 19. Selective absorption and transmission of light.

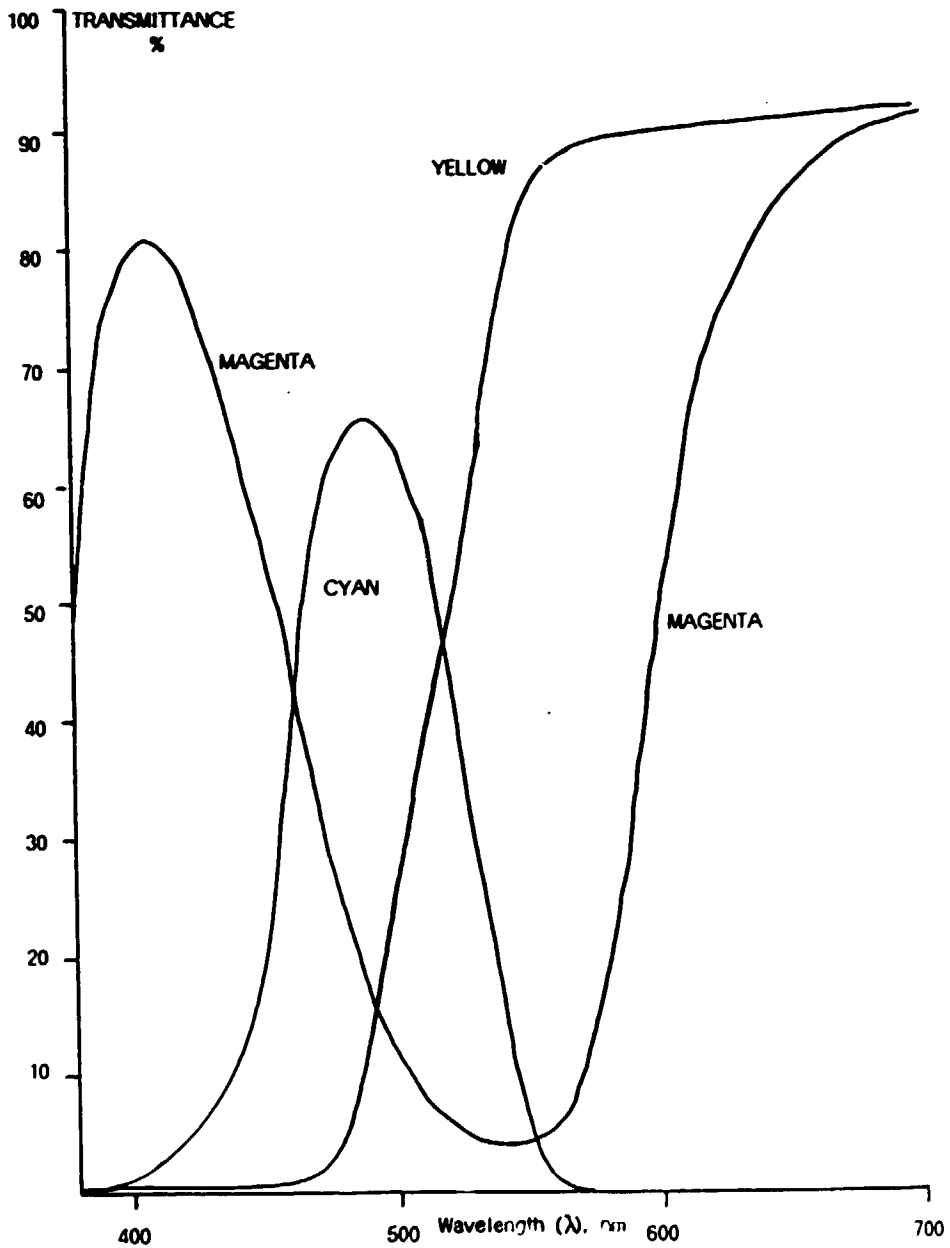
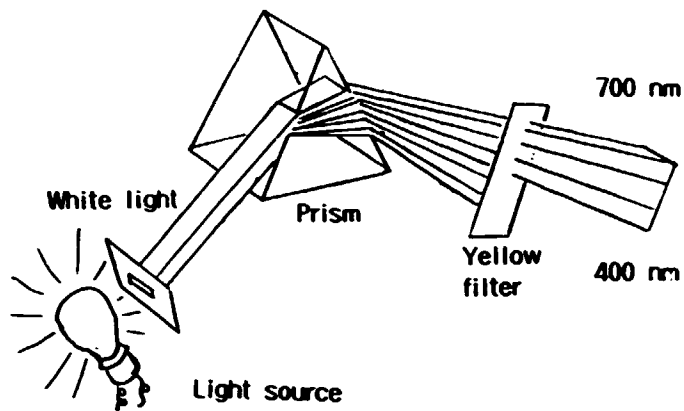
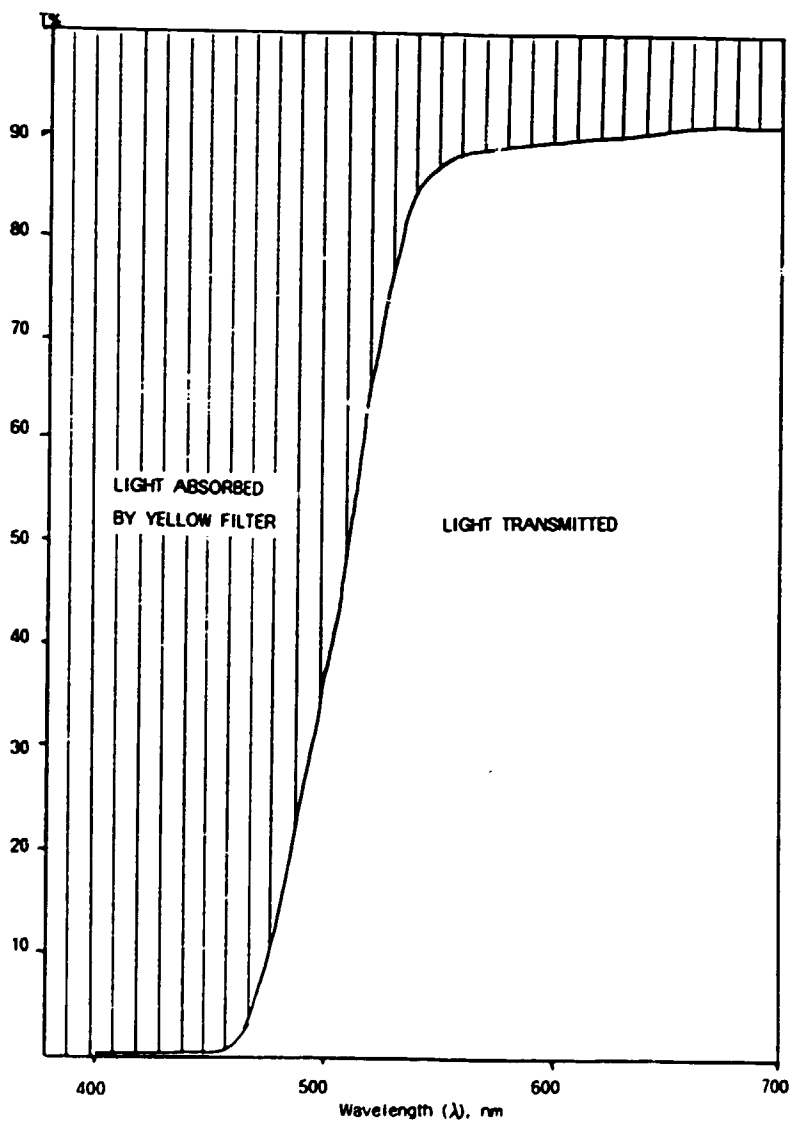


Figure 20. Relative spectral transmittance curves of the three subtractive

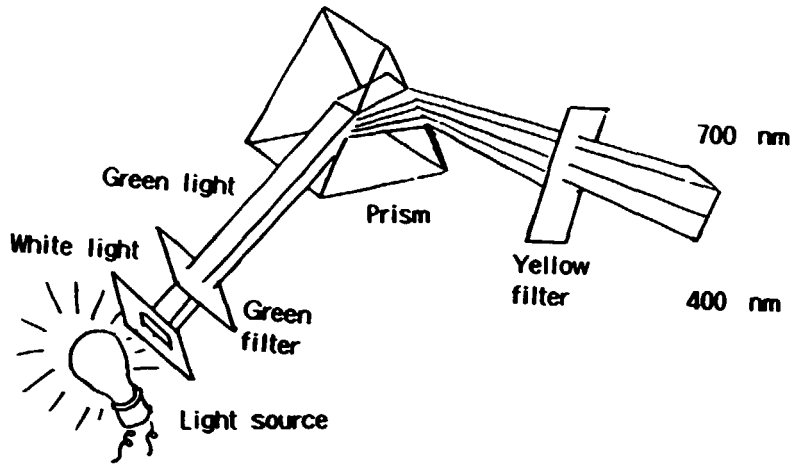


**Figure 21.** Selective absorption of light by yellow filter.

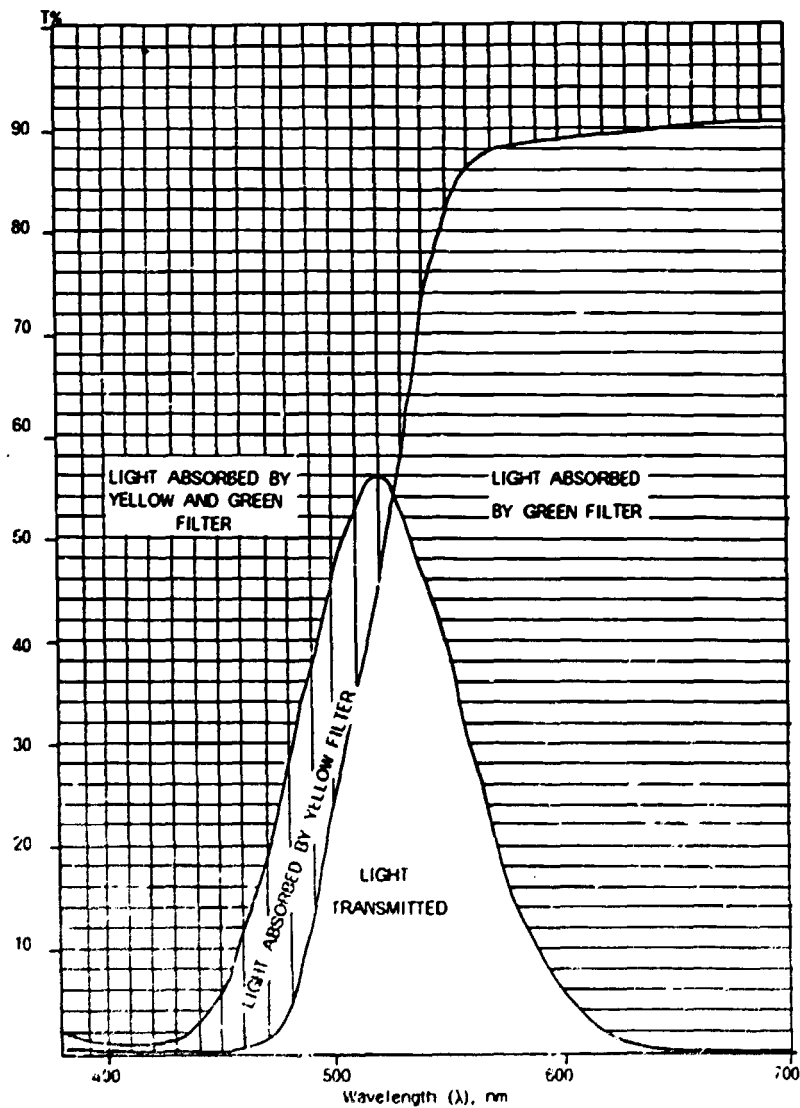
Notice that the filter does not "change the wavelength of light", simply absorbs it at certain parts of the spectrum, and transmits the rest. The mixture of light transmitted is what we perceive as "yellow".



**Figure 22.** Relative spectral transmittance of yellow filter.



**Figure 23.** Selective absorption of "green" light by yellow filter. The relative position of the filters (before or after the dispersion of polychromatic light into its monochromatic components does not influence the result; the arrangement shown above produces the same result as the passing of light through a yellow and a green filter, both positioned either before or after the prism.



**Figure 24.** Spectral transmittance of yellow and green filters.

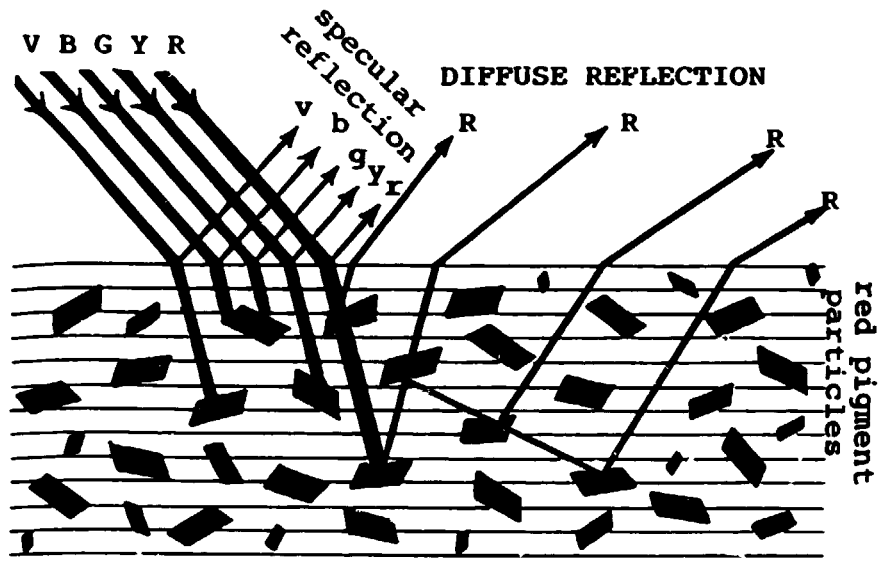


Figure 25. Selective absorption, scattering and reflection of light.

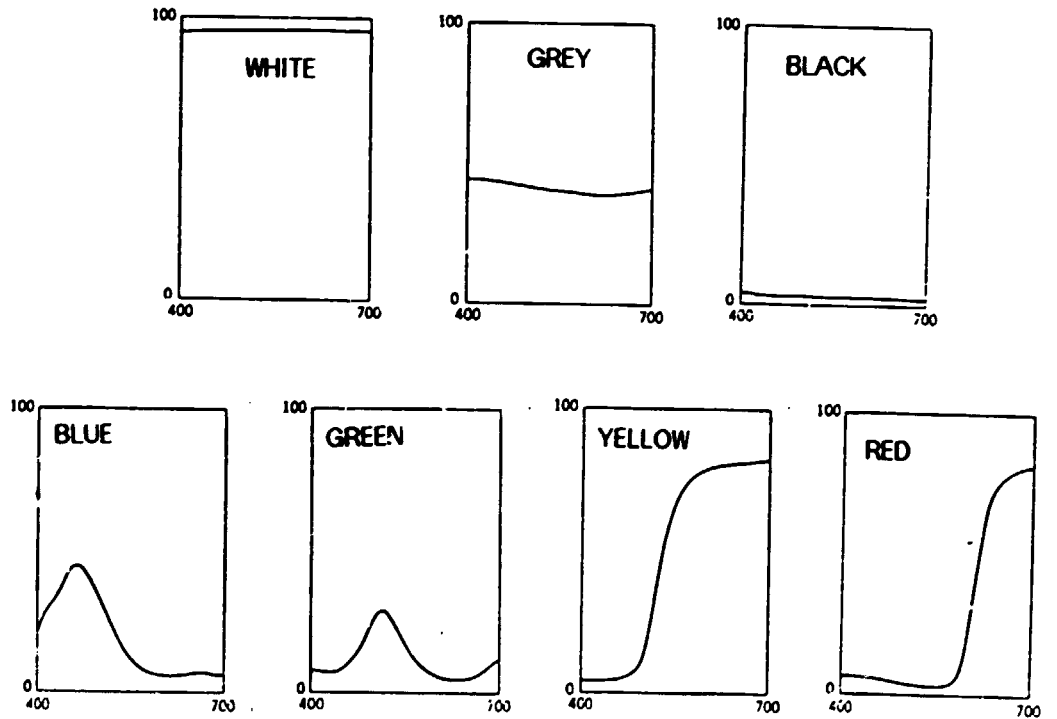


Figure 26. Typical relative spectral reflectance curves.

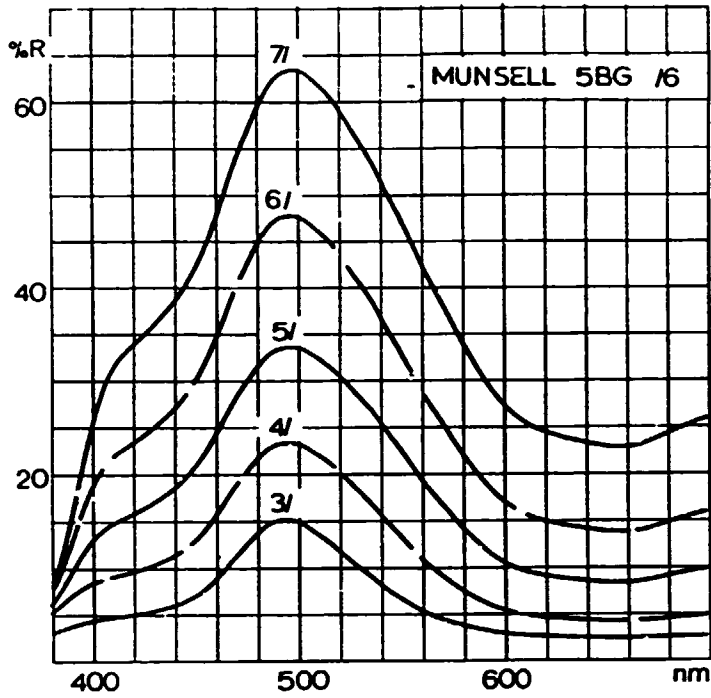


Figure 27. Reflectance curves of MUNSELL samples of identical Hue (5BG) and Chroma (1/6), but different Value.

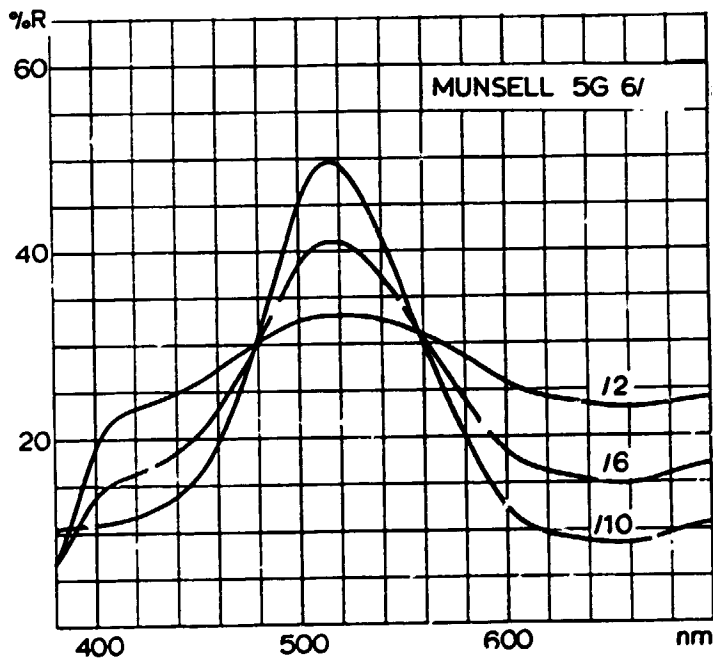
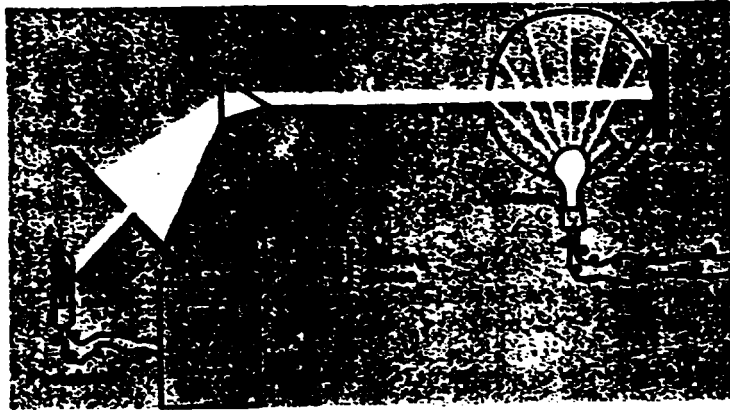
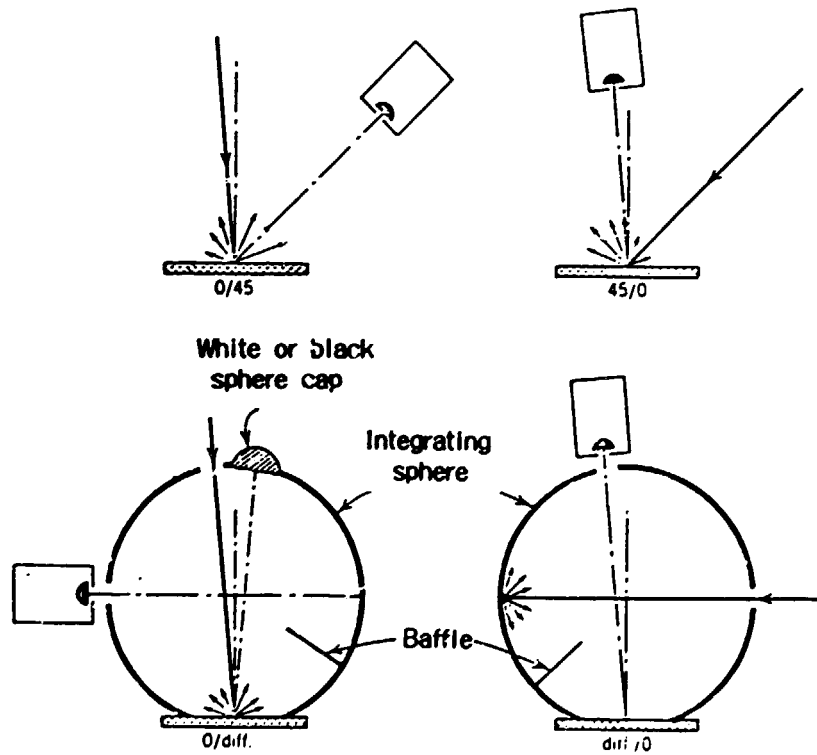


Figure 28. Reflectance curves of MUNSELL samples of identical Hue (5G) and Value (6/), but different Chroma.

# The measurement of reflectance



**Figure 29.** Schematic diagram of a reflectance spectrophotometer. For spectral measurements we need a monochromator (In this case a prism and a slit) in addition to the source, object (sample) and observer (phototube).



**Figure 30.** Schematic diagram showing the four CIE standard illuminating and viewing geometries for reflectance-factor measurements.

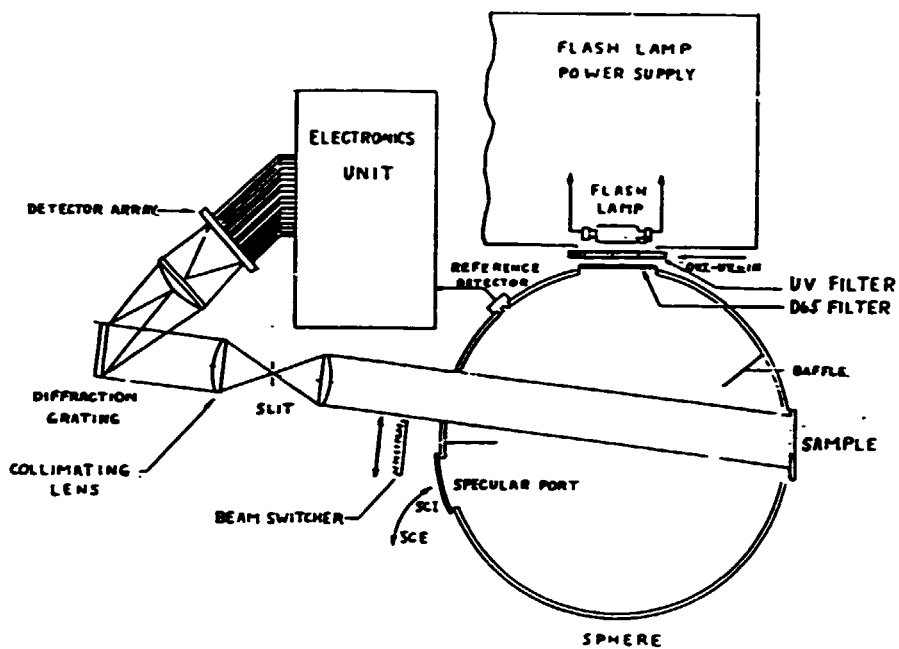


Figure 30. Functional block diagram of the ICS MS 2020 spectrophotometer.

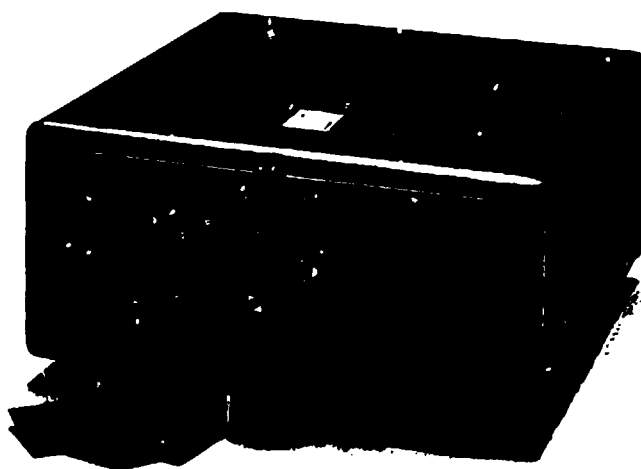
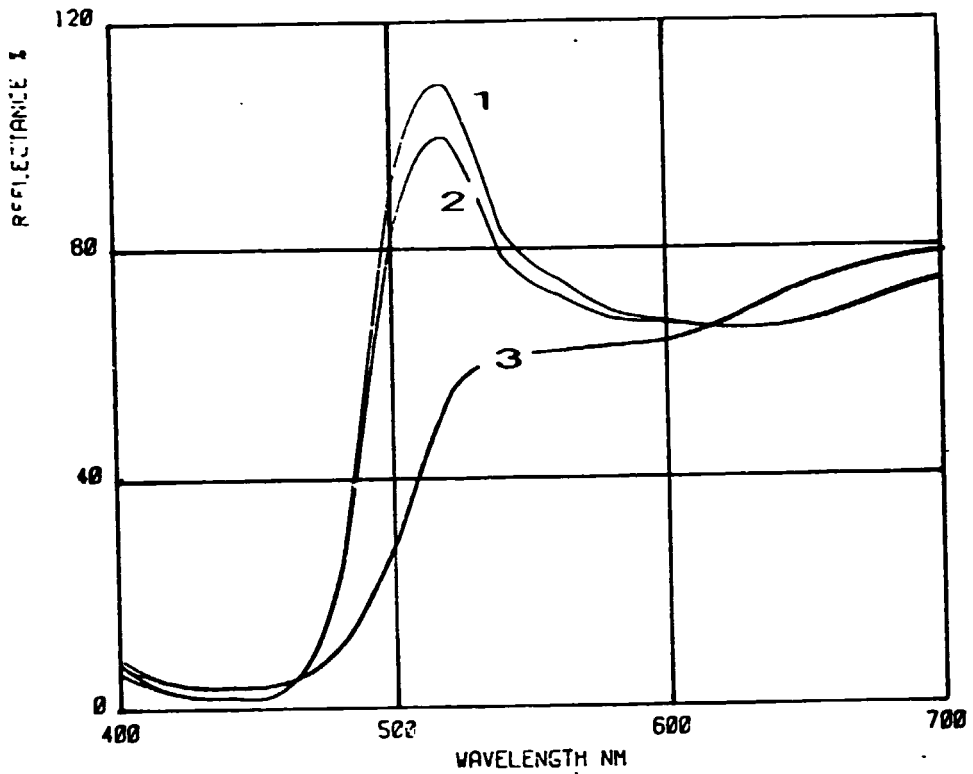


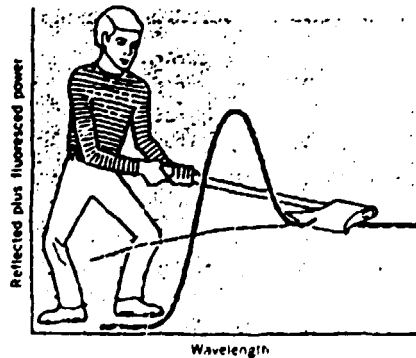
Figure 31. The ICS MS 2020 spectrophotometer.



**Figure 32.** Spectral reflectance-factor curves of a fluorescent and a non-fluorescent yellow sample, both measured with and without the UV component of the illumination.

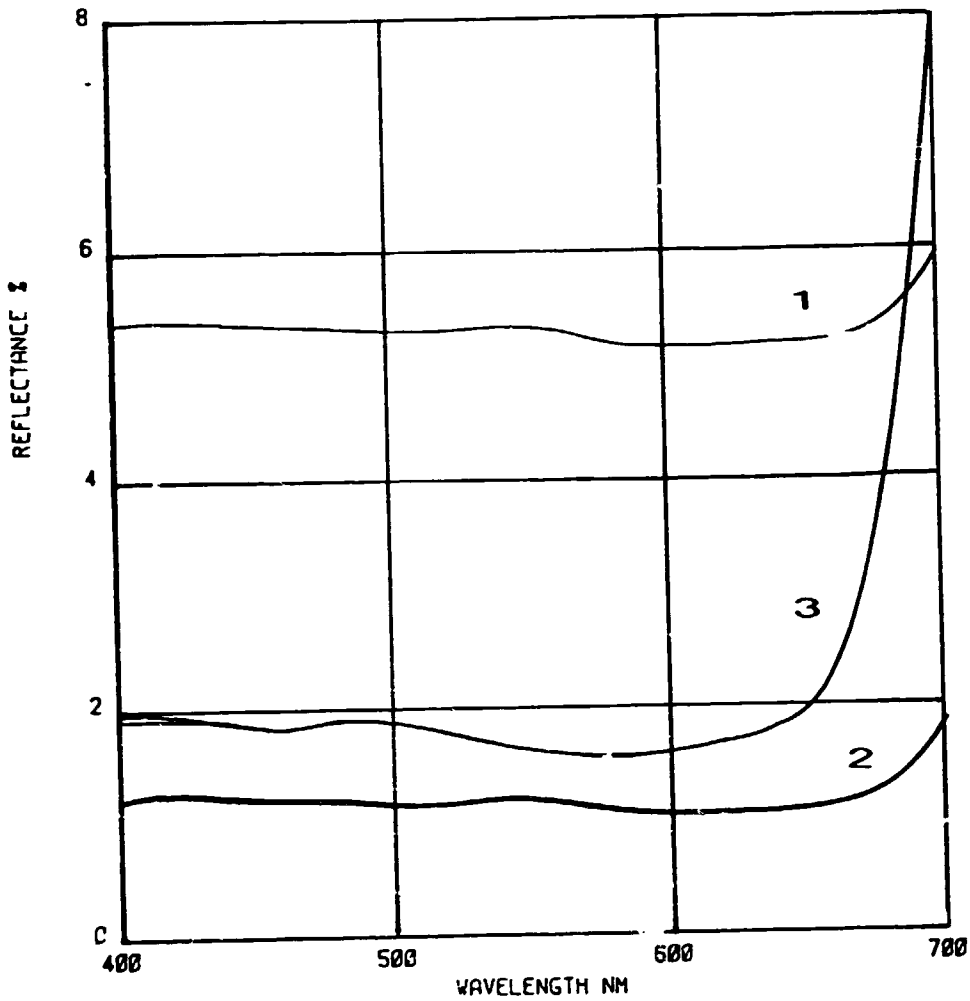
- 1 - Fluorescent sample, UV included
- 2 - Fluorescent sample, UV excluded
- 3 - Non-fluorescent sample, the two curves for UV incl. resp. UV excl. are practically identical.

Colour difference between the two measurements (UV incl. resp. UV excl.) is 3.4 (M&S 83) units for the fluorescent sample, while 0.0 (M&S 83) unit for the non-fluorescent sample.



**Figure 33.** The "lumberjack" method for measuring fluorescent samples with a UV cut-off filter.





**Figure 34.** Spectral reflectance-factor curves of a glossy and a matte black sample, both measured twice: with the specular reflection excluded resp. included in the measurement.

- 1 - Glossy black sample, specular included
- 2 - Glossy black sample, specular excluded
- 3 - Matte black sample (dyed wool yarn), the two curves for specular excl. resp. incl. are practically identical.

Colour difference between the two measurement (spec. incl. resp. spec. excl.) is 23.5! (M&S 83) units for the glossy sample, while .2 (M&S 83) for the matte sample.

# Colour vision and the human eye

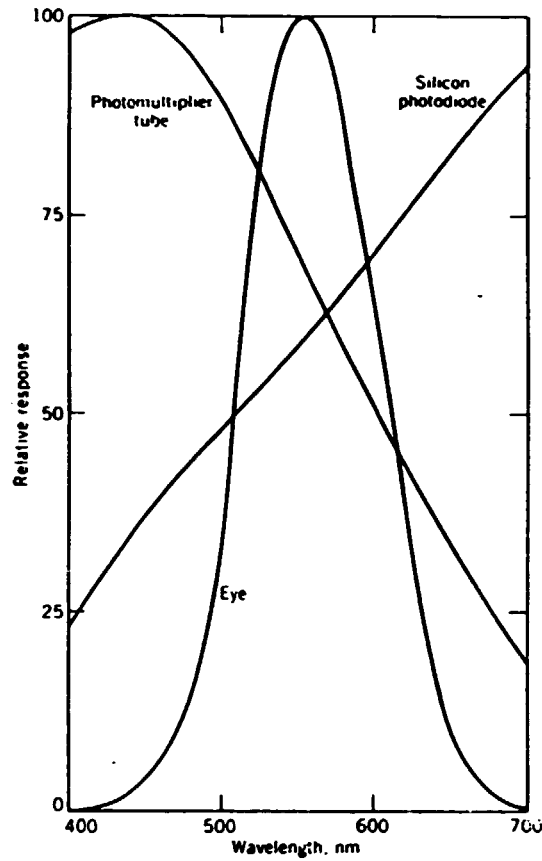


Figure 35. The curves of spectral response to power of the eye and of photoelectric detectors of light.

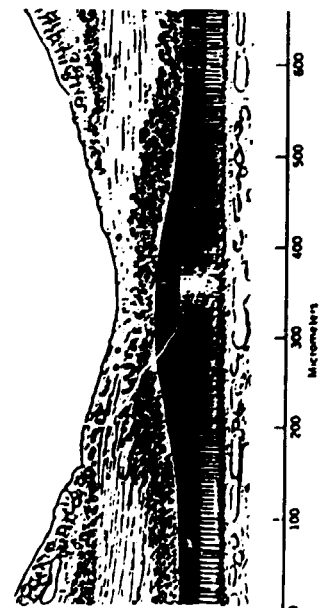
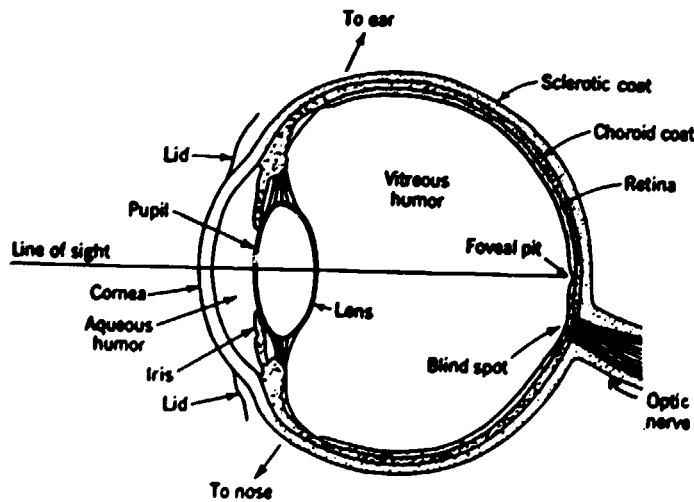
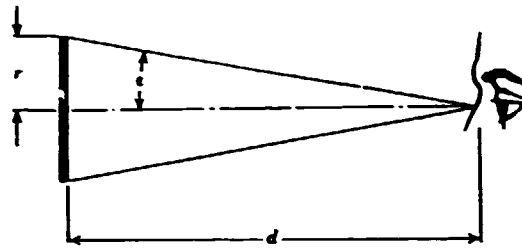


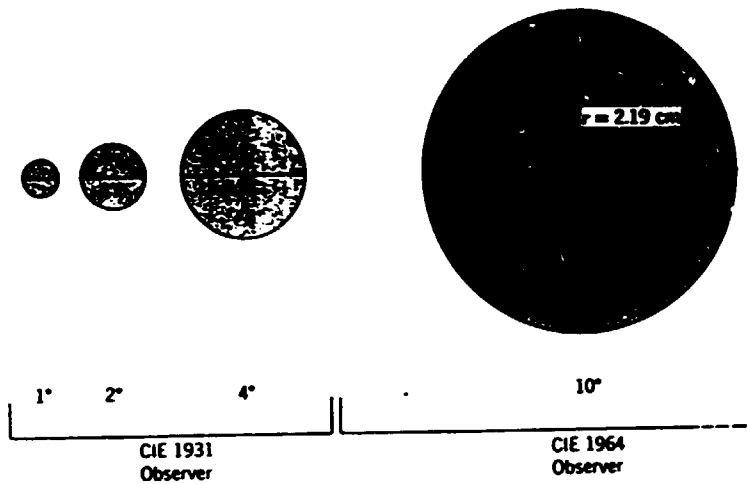
Figure 36. (a) Cross-section of the human eye

(b) The central part of the retina, the fovea (enlarged).

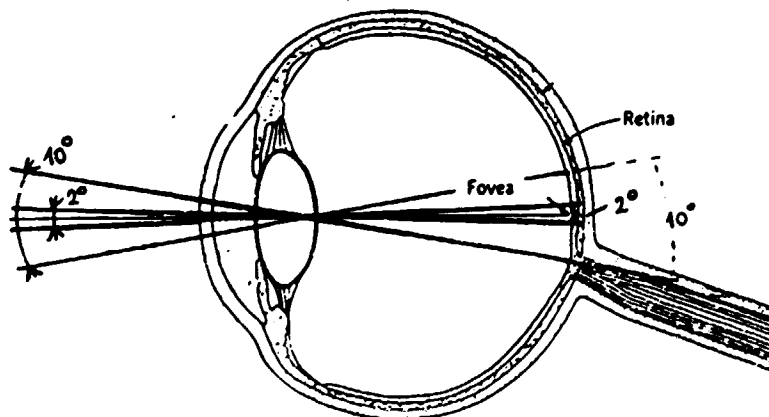


Angular subtense =  $2c = 2 \text{ arc tan } (r/d)$   
(Example: for  $d = 25 \text{ cm}$  and  $2c = 10^\circ$  it follows  $r = 2.19 \text{ cm}$ )

Viewing distance 25 cm normal to this page

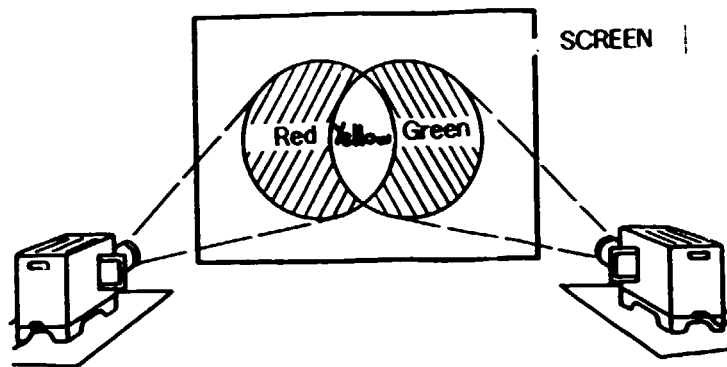


**Figure 37.** Bipartite visual fields of different angular subtense. When viewed normally at a distance of 25 cm the fields subtend at the observer's eye 1, 2, 4 and 10 degrees. The derivation of angular subtense is indicated at the top of the figure.

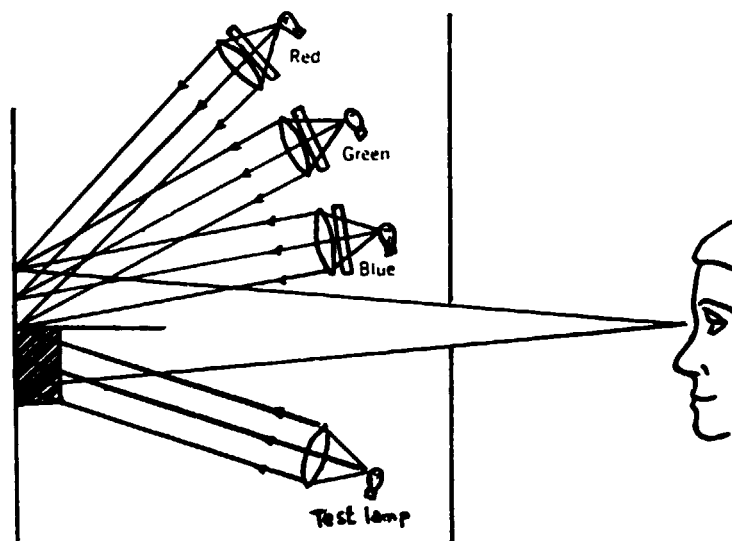


**Figure 38.** Illustration of viewing at 2° and 10° angular subtense.

## The CIE system of colour measurement



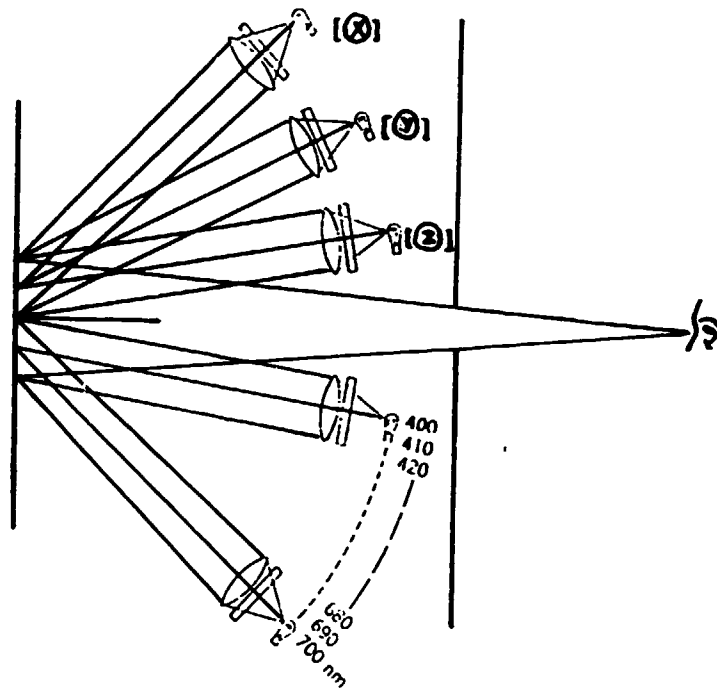
**Figure 39.** Mixing coloured lights (additive colour mixing).  
Notice, that yellow is a mixture of red and green, thus the additive primaries are red, green and blue.



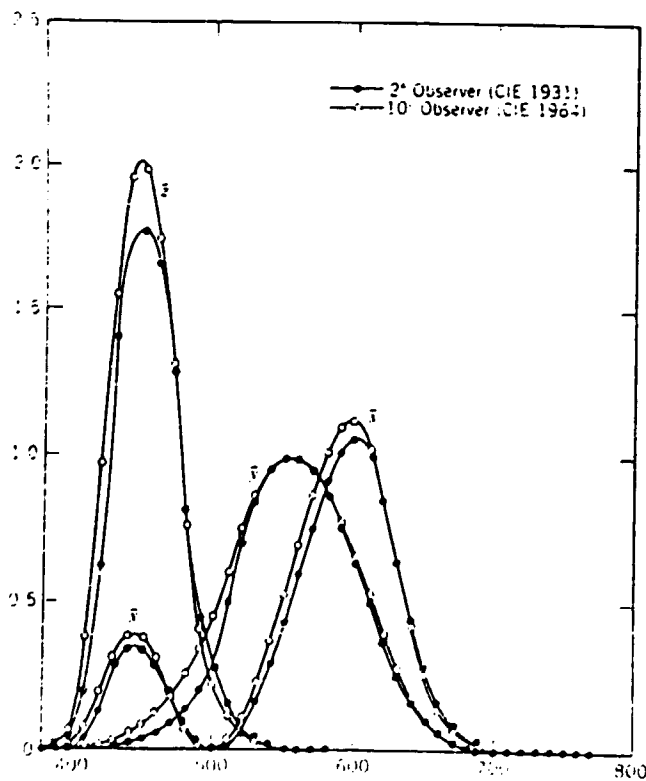
**Figure 40.** An arrangement for matching a large number of colours by mixing the light from three "primary" lamps.

### Grassmann's laws:

1. The human eye can distinguish only three kinds of differences or variations among colour stimuli (which we can describe as differences in hue, lightness and chroma, or hue, brightness and saturation.)
2. If in a mixture of three colour stimuli one stimulus is changed continuously (while keeping the other two constant) then the [perceived] colour of the mixture changes continuously.
3. Stimuli of the same colour (i.e. of the same [perceived] hue, lightness/brightness and chroma/saturation) evoke the same colour in their mixtures as well, irrespective of their spectral composition.



**Figure 41.** Matching monochromatic colours of the equal energy spectrum by a mixture of the (X) (Y) (Z) (virtual) primaries.



**Figure 42.** Spectral tristimulus values in the CIE 1931 resp. 1964 systems: the colour matching functions of the CIE 1931 (2°) and CIE 1964 (10°) observers.

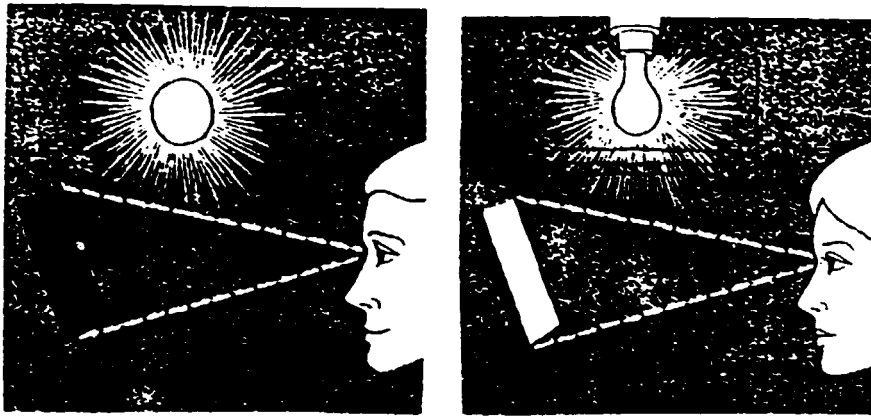


Figure 43. The CIE system for describing colour is no different from any other except for its standardization of illuminants and observers.

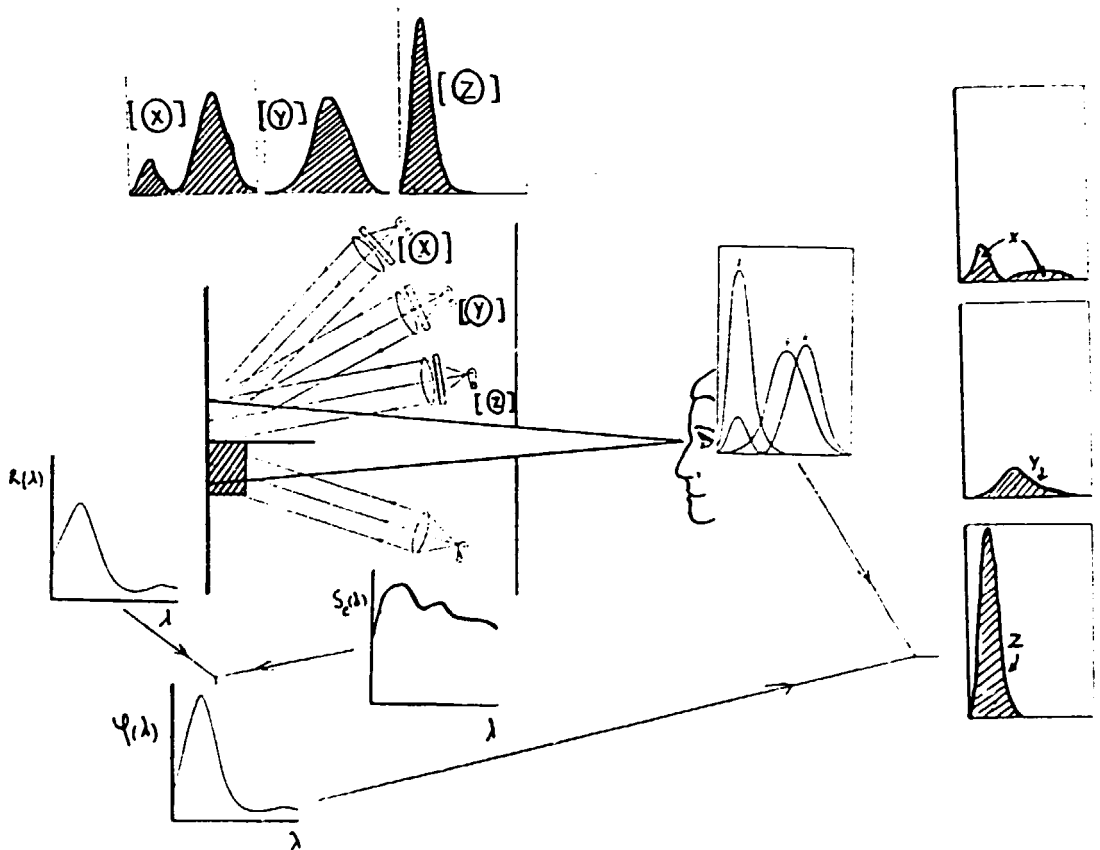
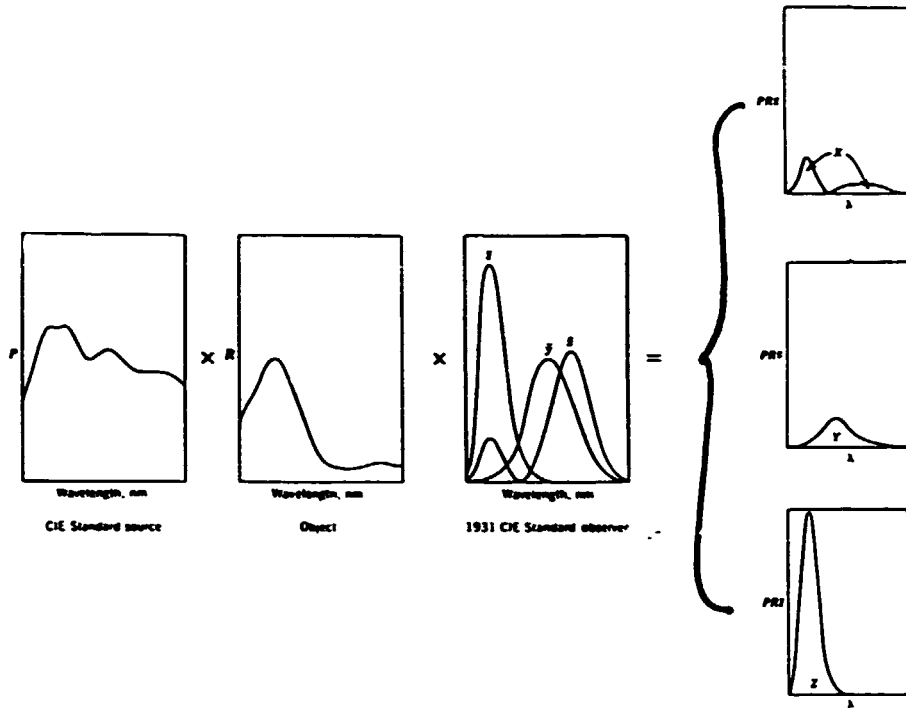


Figure 44. Derivation of the X, Y, Z tristimulus values.

Since the  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$  colour matching functions have been determined for the equal energy spectrum as illuminant and the perfect diffuse reflector (ideal white) as object, for real sources and objects the  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$  values have to be combined (multiplied wavelength by wavelength) with the  $S(\lambda)$  [ $P(\lambda)$ ] spectral power distribution of the illuminant and the  $R(\lambda)$  [ $B(\lambda)$ ] spectral reflectance factor of the object. The arrangement on the figure above shows the visual equivalent: matching the colour of an object by a mixture of the X, Y, Z tristimulus values as lights.



Wavelength (nm)	R (%)	$P_r \cdot x$	$P_r \cdot y$	$P_r \cdot z$	$P_r \cdot x$	$P_r \cdot y$	$P_r \cdot z$
400	23.3	0.00044	0.01	-0.00001	0	0.00187	0.04
420	33.0	0.02926	0.97	0.00085	0.03	0.14064	4.64
440	41.7	0.07680	3.20	0.02513	0.21	0.38643	16.11
460	50.0	0.06633	3.32	0.01383	0.69	0.38087	19.04
480	47.2	0.02345	1.11	0.03210	1.52	0.19464	9.19
500	36.5	0.00069	0.03	0.06884	2.51	0.05725	2.09
520	24.0	0.01193	0.29	0.12882	3.09	0.01450	0.35
540	13.5	0.05588	0.75	0.18268	2.47	0.00365	0.05
560	7.9	0.11751	0.93	0.19606	1.55	0.00074	0.01
580	6.0	0.16801	1.01	0.15989	0.96	0.00026	0
600	5.5	0.17896	0.98	0.10684	0.59	0.00012	0
620	6.0	0.14031	0.84	0.06284	0.38	0.00003	0
640	7.2	0.07437	0.54	0.02897	0.21	0	0
660	8.2	0.02728	0.22	0.01003	0.08	0	0
680	7.4	0.00749	0.06	0.00271	0.02	0	0
700	7.0	0.00175	0.01	0.00063	0	0	0
		Sum = X = 14.27		Sum = Y = 14.31		Sum = Z = 51.52	

Figure 45. Calculation of the X, Y, Z tristimulus values.

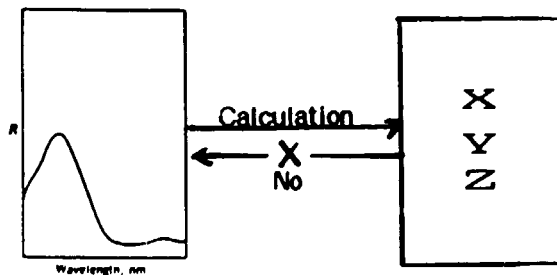


Figure 46. The spectral reflectance values of an object determine its X, Y, Z values for any given illuminant/observer. On the other hand for any given set of X, Y, Z values there is an infinite number of corresponding spectral reflectance curves (called metamers - see later).

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

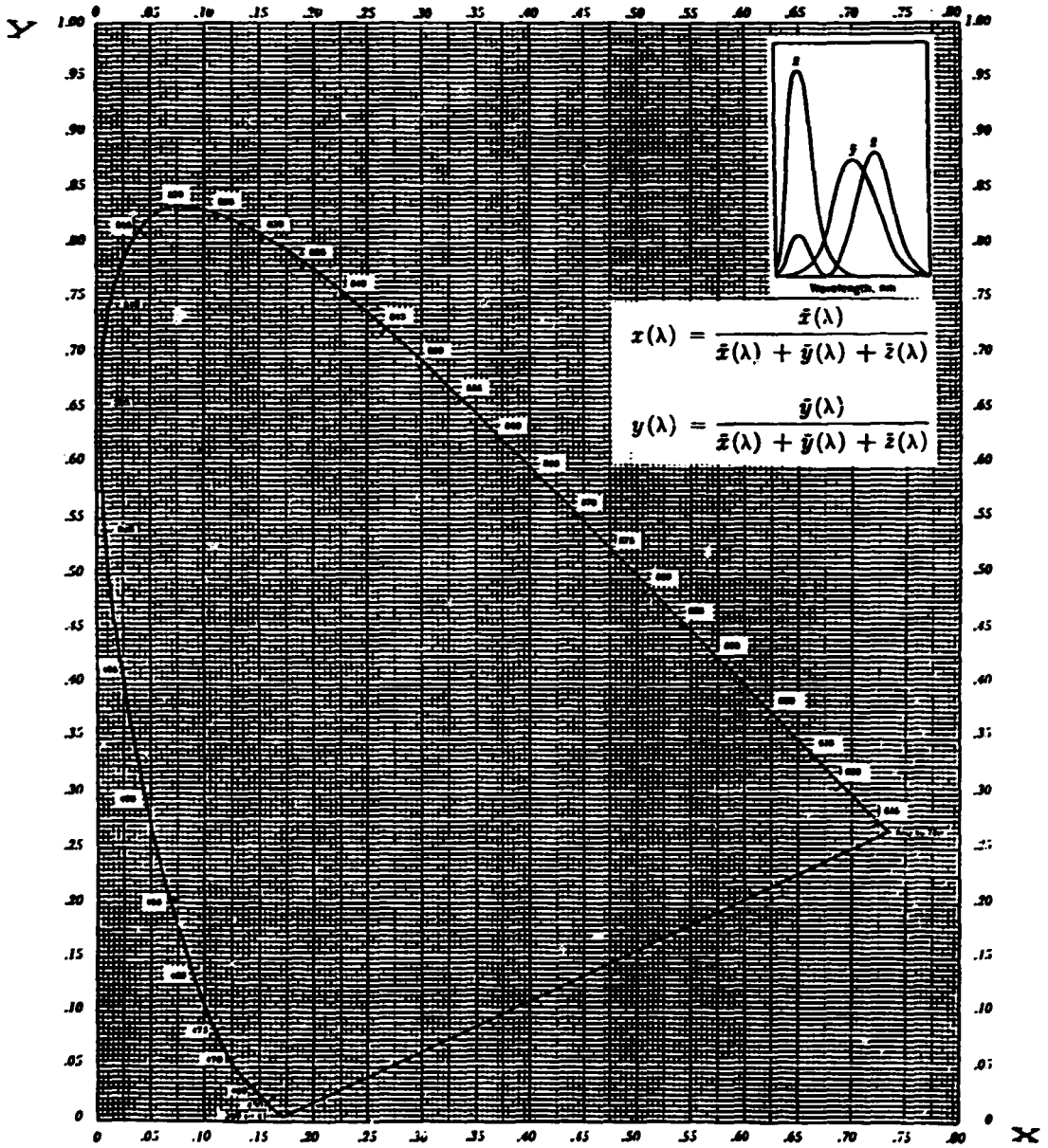


Figure 47. The CIE 1931 x,y chromaticity diagram. The spectrum locus was obtained by joining the points corresponding to the  $x(\lambda)$ ,  $y(\lambda)$  spectral chromaticity coordinates.



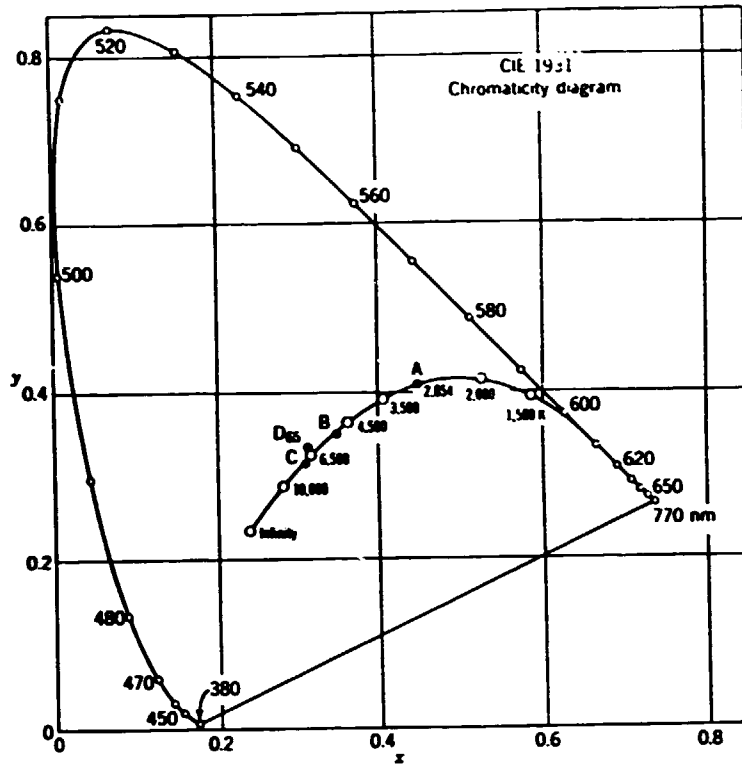


Figure 48. The CIE 1931 x,y chromaticity diagram showing the Planckian locus and chromaticity points of CIE standard illuminants.

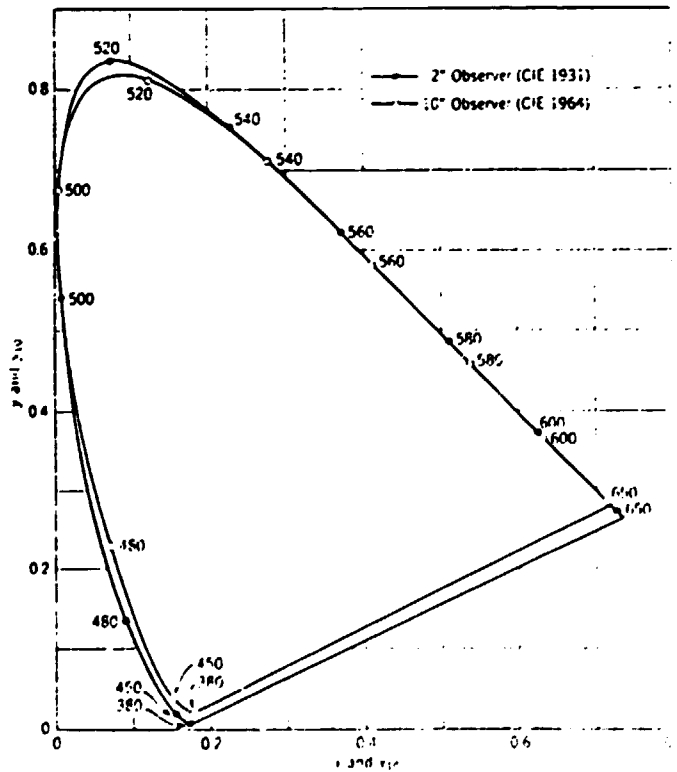


Figure 49. The CIE 1931 x,y and the CIE 1964  $x_{10}, y_{10}$  chromaticity diagrams.

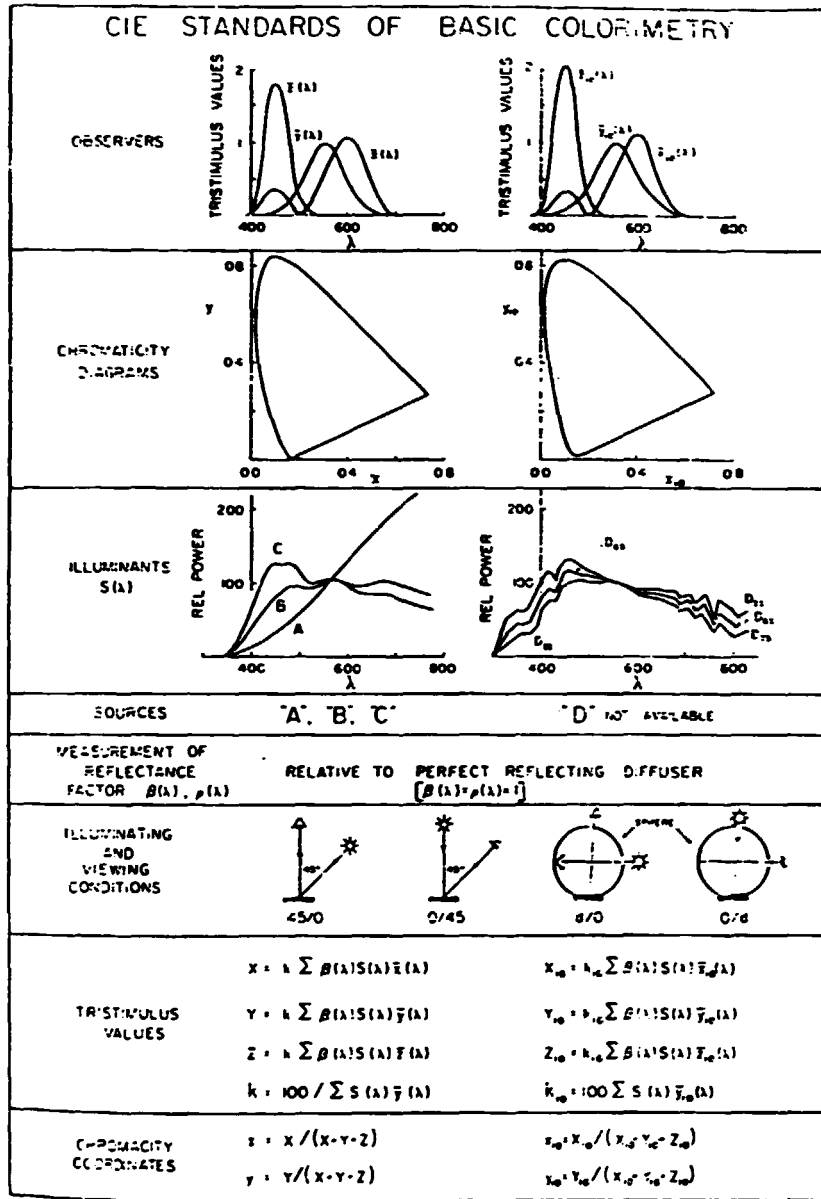
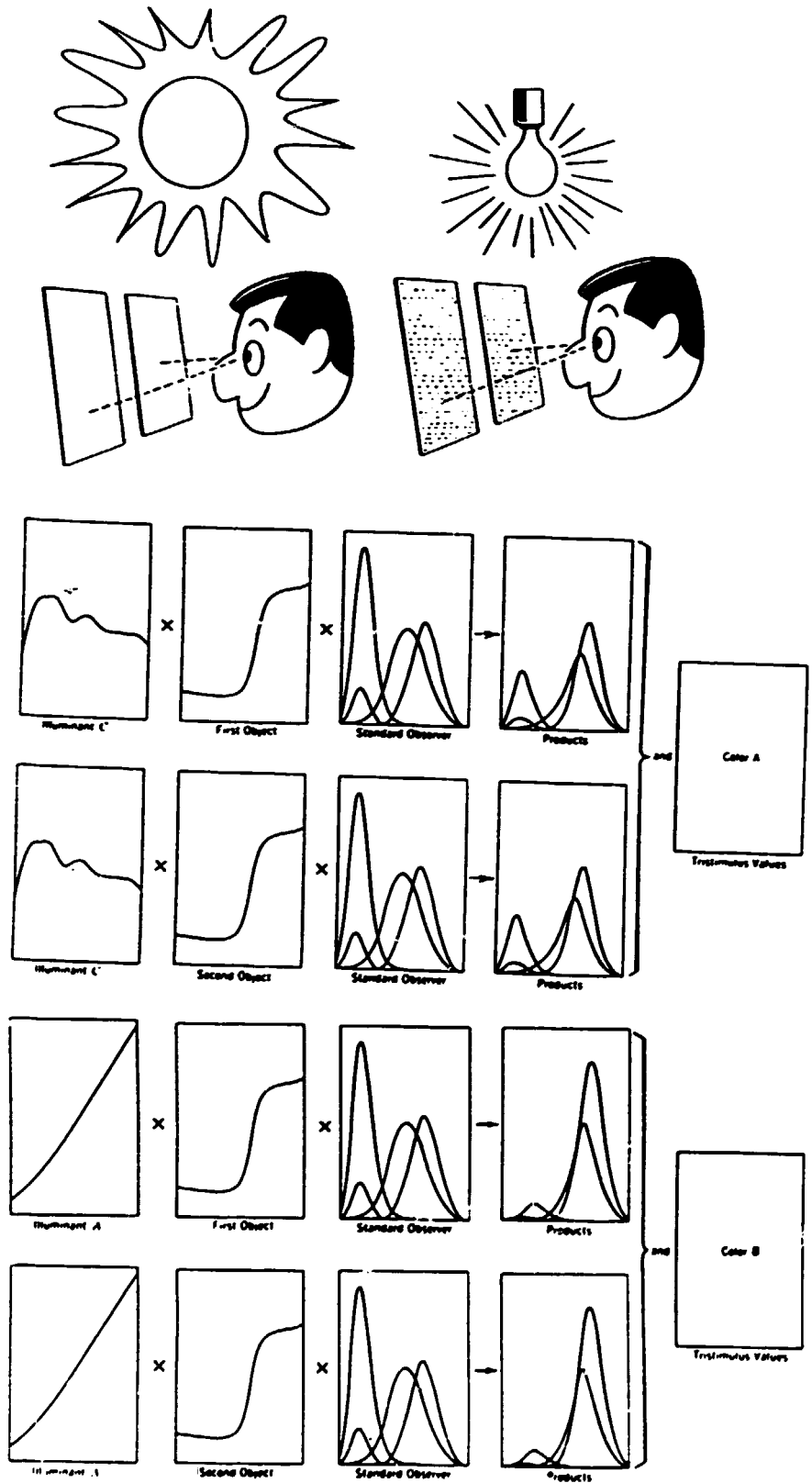
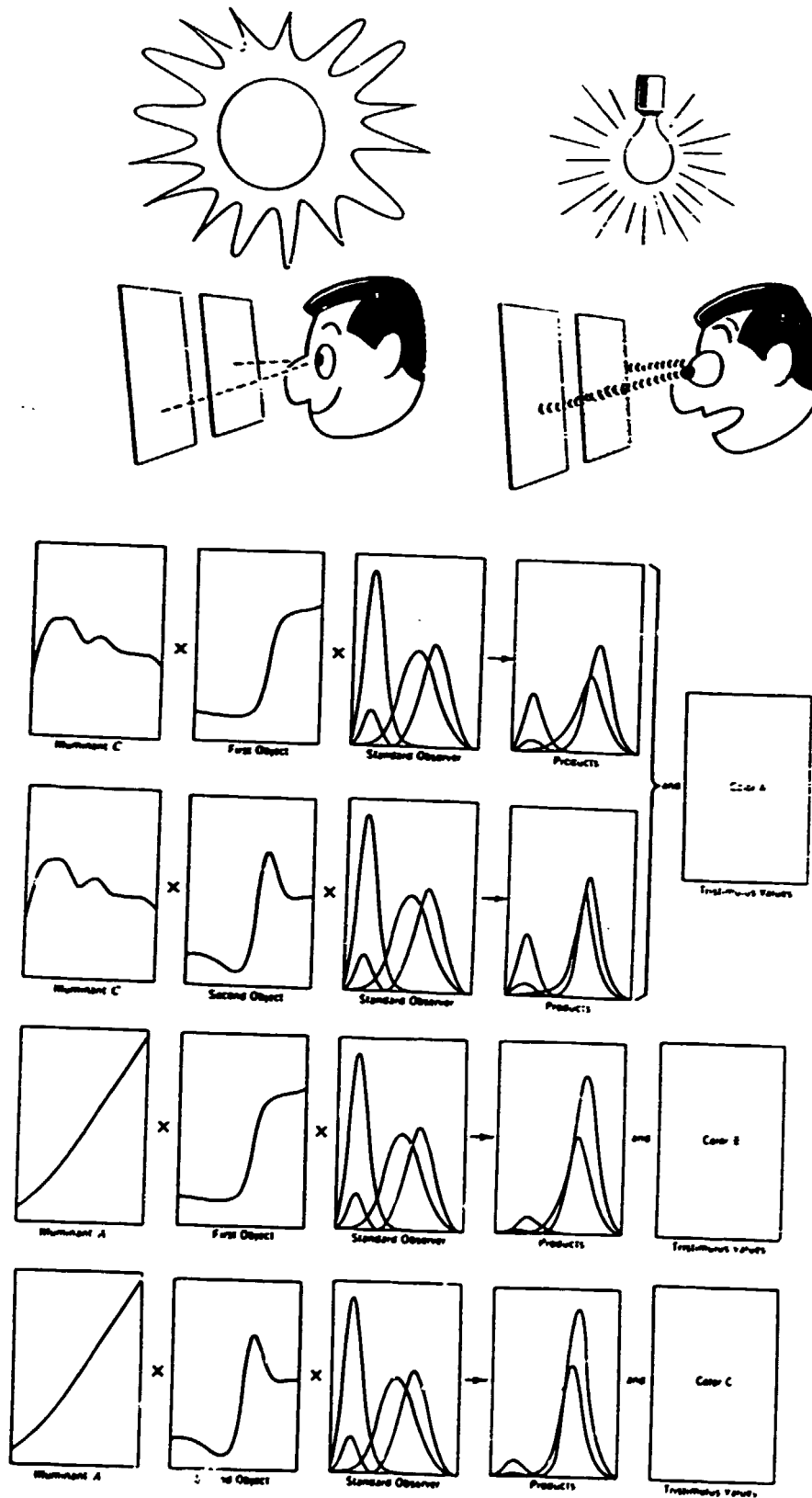


Figure 50. CIE standards of basic colorimetry.

### Metamerism



**Figure 51.** When two objects have identical spectral reflectance curves, they will always have identical tristimulus values even if the source or observer (or both) is changed.



**Figure 52.** When two objects have spectral reflectance curves that are not identical, their tristimulus values (and thus their colours) may be identical under one set of illuminating and viewing conditions, but they cease to match if either the illumination or the observer is changed.

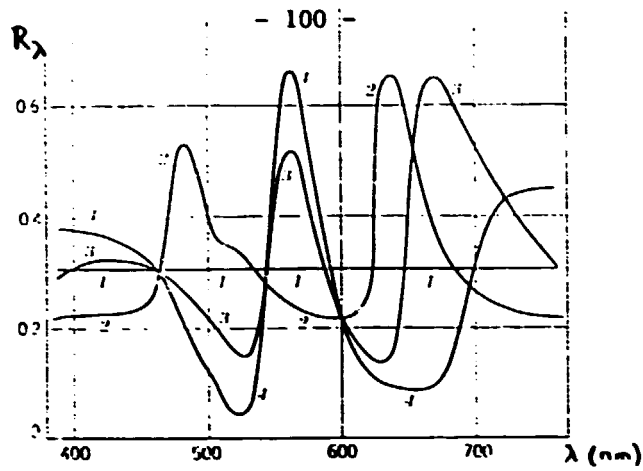


Figure 53. Spectral reflectance factor curves of four hypothetical greys, which match under  $D_{65}$  for the  $2^\circ$  observer.

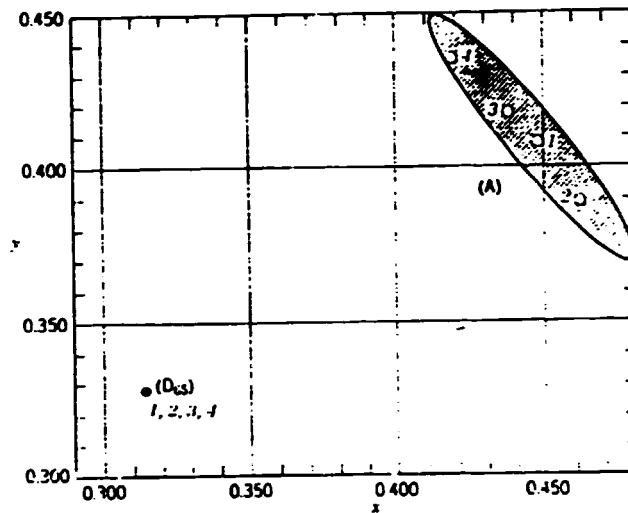


Figure 54. CIE 1931 chromaticity coordinates of the four metameric greys for illuminants  $D_{65}$  and A. The shaded area shows the possible gamut of all colours for illuminant A which match for illuminant  $D_{65}$ .

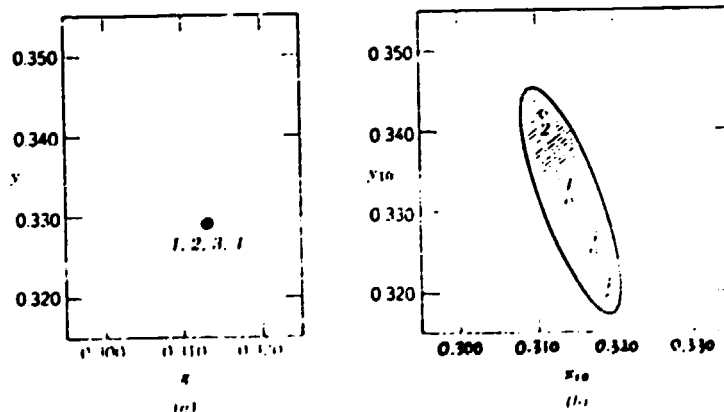


Figure 55. CIE 1931 (a) resp. 1964 (b) chromaticity coordinates of the four metameric greys for illuminant  $D_{65}$ . The shaded area shows the possible gamut of all colours for the  $10^\circ$  observer which constitute a match for the  $2^\circ$  observer.

Uniform colour spaces

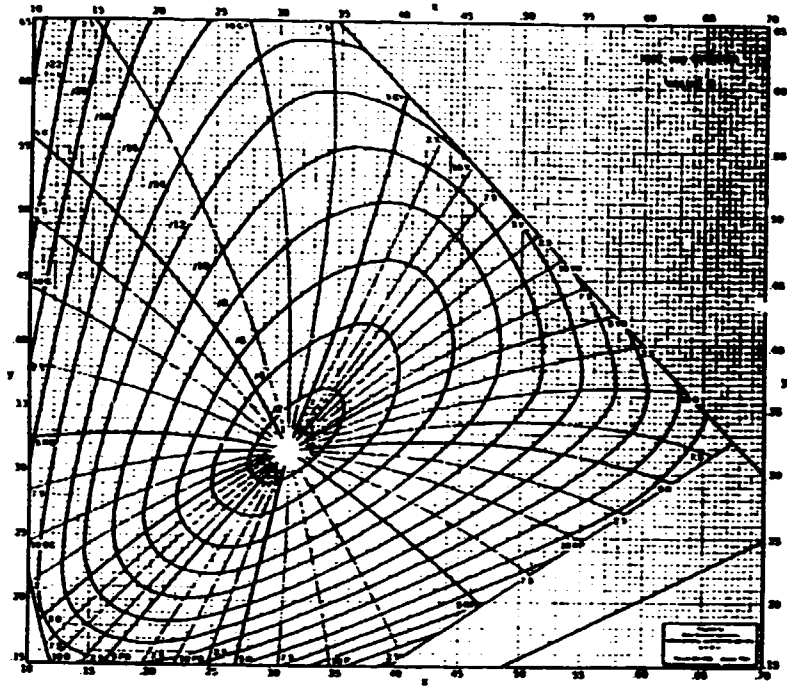


Figure 56. Portion of CIE 1931 chromaticity diagram showing loci of constant MUNSSELL Hue and Chroma for MUNSSELL colours of constant Value 5/.

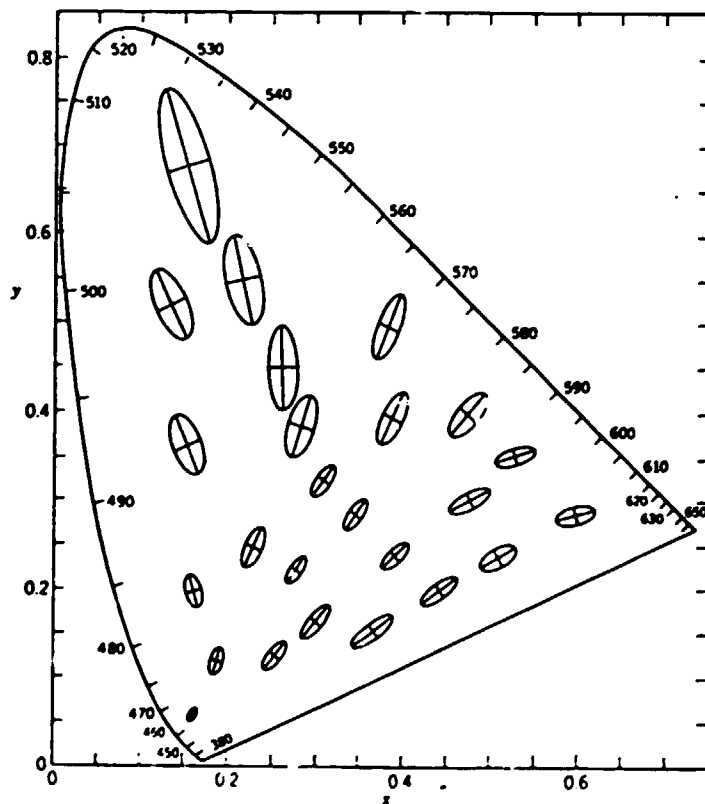
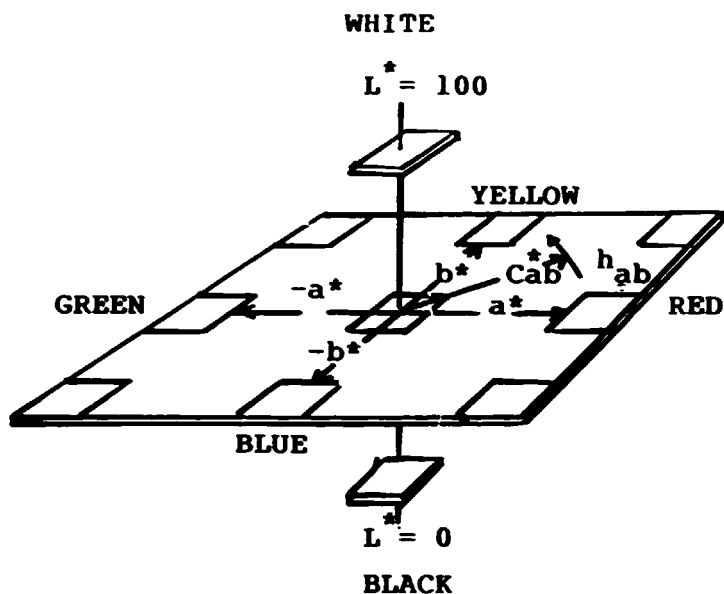


Figure 57. Statistical variation of chromaticity matches in different parts of the CIE 1931 chromaticity diagram [the famous MacAdam ellipses].

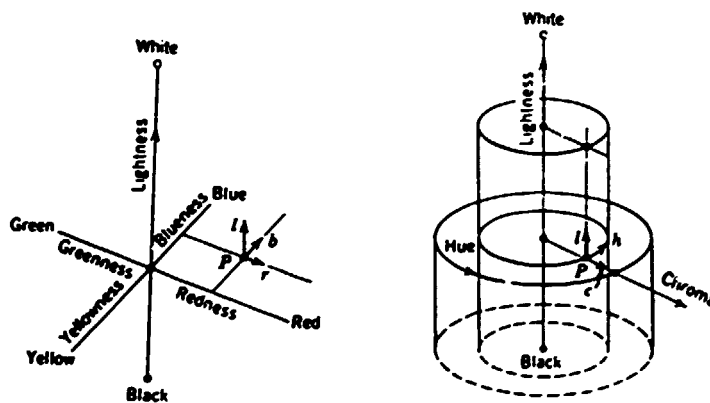


$$L^* = f(Y/Y_0)$$

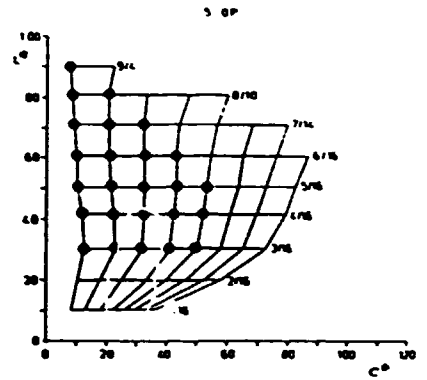
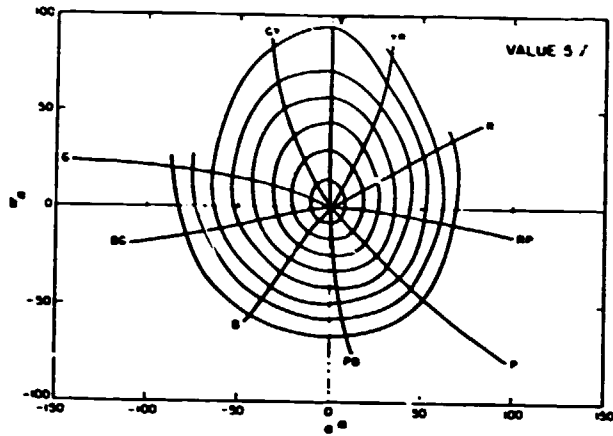
$$a^* = f(X/X_0, Y/Y_0) \qquad C^* = f(a^*, b^*)$$

$$b^* = f(Y/Y_0, Z/Z_0) \qquad h = f(a^*, b^*)$$

**Figure 58.** The CIE 1976  $L^* a^* b^*$  [or CIELAB] system of colour specification. It is visually significantly more uniform than the CIE X, Y, Z system.

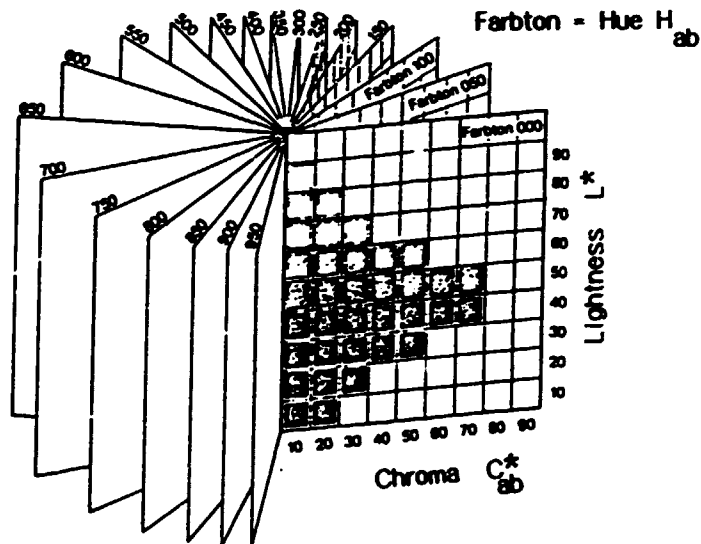


**Figure 59.** In the CIELAB system colours are described by their lightness ( $L^*$ ), redness-greenness ( $a^*$ ) and yellowness-blueness ( $b^*$ ) coordinates. Another way to describe colours in the same system is to use the cylindrical coordinates psychometric lightness ( $L^*$ ), psychometric hue ( $h_{ab}$ ) and psychometric chroma ( $C^*_{ab}$ ), closely related to MUNSSELL coordinates.



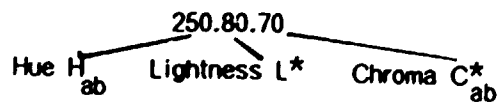
**Figure 60. (a)** Loci of constant MUNSELL Hue and Chroma plotted for constant Value 5/ in the CIE 1976  $a^*b^*$  diagram.

**(b)** Points corresponding to constant MUNSELL Hue 5.0 P shown in the CIE 1976  $L^*C^*$  diagram.



**Figure 61.** In the EUROCOLOR system colours are specified by their CIELAB values, with hue angle expressed on a scale of 0 to 1000.

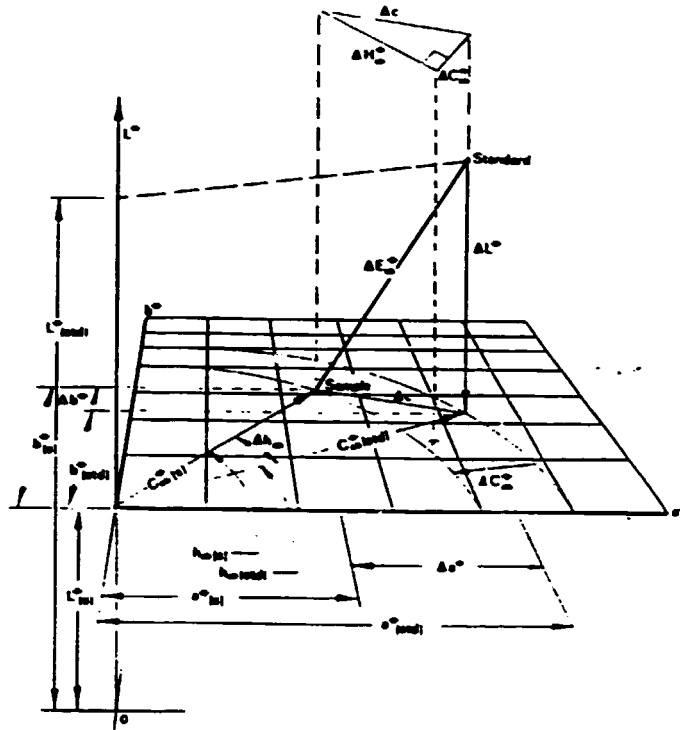
E.g. for a greenish yellow:



$$\text{where } H_{ab} = \frac{1000}{360} \arctan(b^*/a^*)$$



Colour differences, colour tolerances



$L^*$  = CIE 1976 psychometric lightness =  $116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$  (Note 1)

$a^*$  = Red(+) - Green(-) axis =  $500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$  (Note 1)

$b^*$  = Yellow(+) - Blue(-) axis =  $200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$  (Note 1)

$C^*_{ab}$  = CIE 1976 a,b chroma =  $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$

$h_{ab}$  = CIE 1976 a,b hue-angle =  $\arctan (b^*/a^*)$

$\Delta H^*_{ab}$  = CIE 1976 a,b hue-difference =  $[(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*_{ab})^2]^{1/2}$

$\Delta c$  = Chromaticity difference in  $a^*b^*$  plane =  $[(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$

$\Delta E^*_{ab}$  = CIE 1976  $L^*a^*b^*$  color-difference formula =  $[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$

$\Delta$  = Difference between Sample and Standard

Figure 62. Graphical explanation of psychometric colour difference terms.

Note Valid only for values of  $X/X_n$ ,  $Y/Y_n$  and  $Z/Z_n$  greater than 0.008856, below which a linear expression is used instead of the cubic root formula.

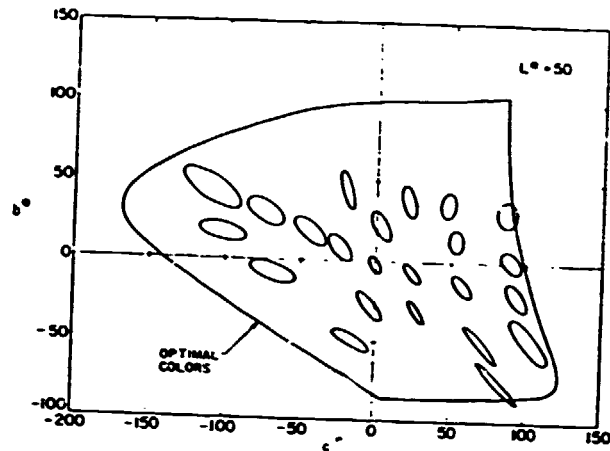


Figure 63. MacAdam ellipses plotted in the CIE 1976  $a^*b^*$  diagram.

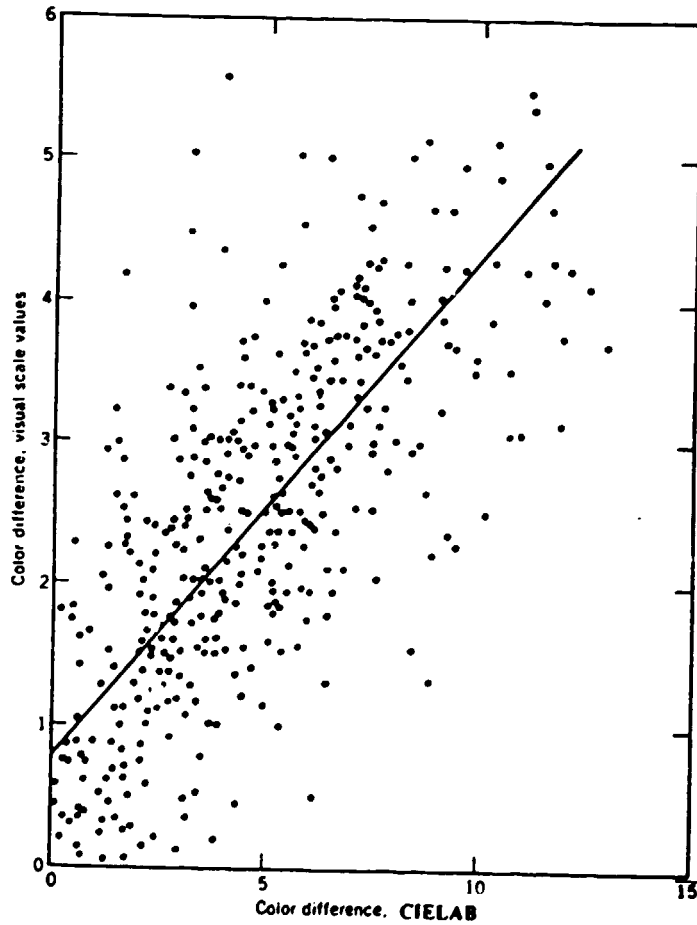
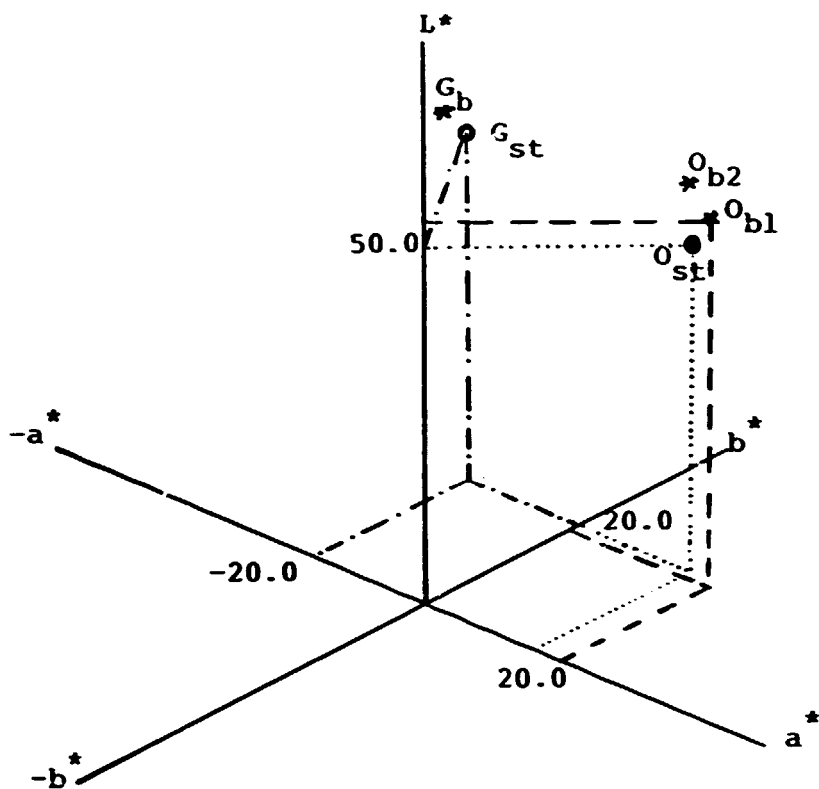
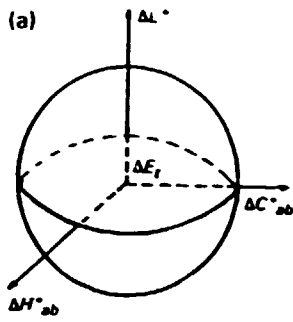


Figure 64. Graph illustrating the poor correlation between visually assessed colour differences and the corresponding  $DE^*_{ab}$  values.



	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C_{ab}^*$	$h_{ab}$	
$O_{st}$	50.0	20.0	30.0	36.0	60.0	
$G_{st}$	50.0	-20.0	30.0	36.0	120.0	
	$DL^*$	$DC_{ab}^*$	$DH_{ab}^*$	$DE_{ab}^*$	$DE(CMC)$	
$O_{st/b1}$	1.0	-1.05	1.97	2.45	2.52	REJECT
$O_{st/b2}$	2.45	0.00	0.00	2.45	1.13	ACCEPT
$G_{st/b}$	1.0	-1.05	1.97	2.45	1.39	ACCEPT

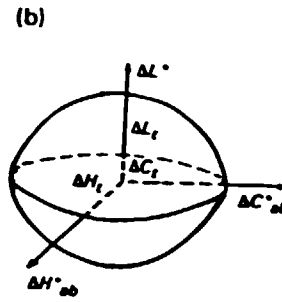
**Figure 65.** Graph illustrating sample/batch pairs of the same  $DE_{ab}^*$  CIELAB colour difference, but either accepted or rejected visually depending on the orientation of the difference and/or the position of the standard/batch pair in colour space.



(a) Tolerance sphere

$$\Delta E^{\circ}_{ab} = [(\Delta L^{\circ})^2 + (\Delta C^{\circ}_{ab})^2 + (\Delta H^{\circ}_{ab})^2]^{1/2}$$

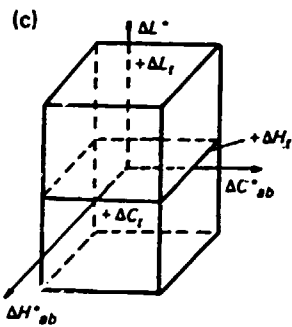
Acceptability criterion:  $\Delta E^{\circ}_{ab} \leq \Delta E_t$



(b) Tolerance ellipsoid

$$\Delta E(m) = [(\Delta L^{\circ}/\Delta L_t)^2 + (\Delta C^{\circ}_{ab}/\Delta C_t)^2 + (\Delta H^{\circ}_{ab}/\Delta H_t)^2]^{1/2}$$

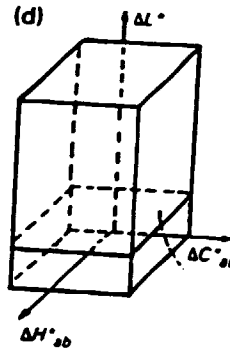
Acceptability criterion:  $\Delta E(m) \leq \Delta E_t$



(c) Rectangular tolerance box:

Acceptability criterion:

$$\Delta L^{\circ} \leq |\pm \Delta L_t| \text{ and } \Delta C^{\circ}_{ab} \leq |\pm \Delta C_t| \text{ and } \Delta H^{\circ}_{ab} \leq |\pm \Delta H_t|$$



(d) Asymmetrical rectangular tolerance box

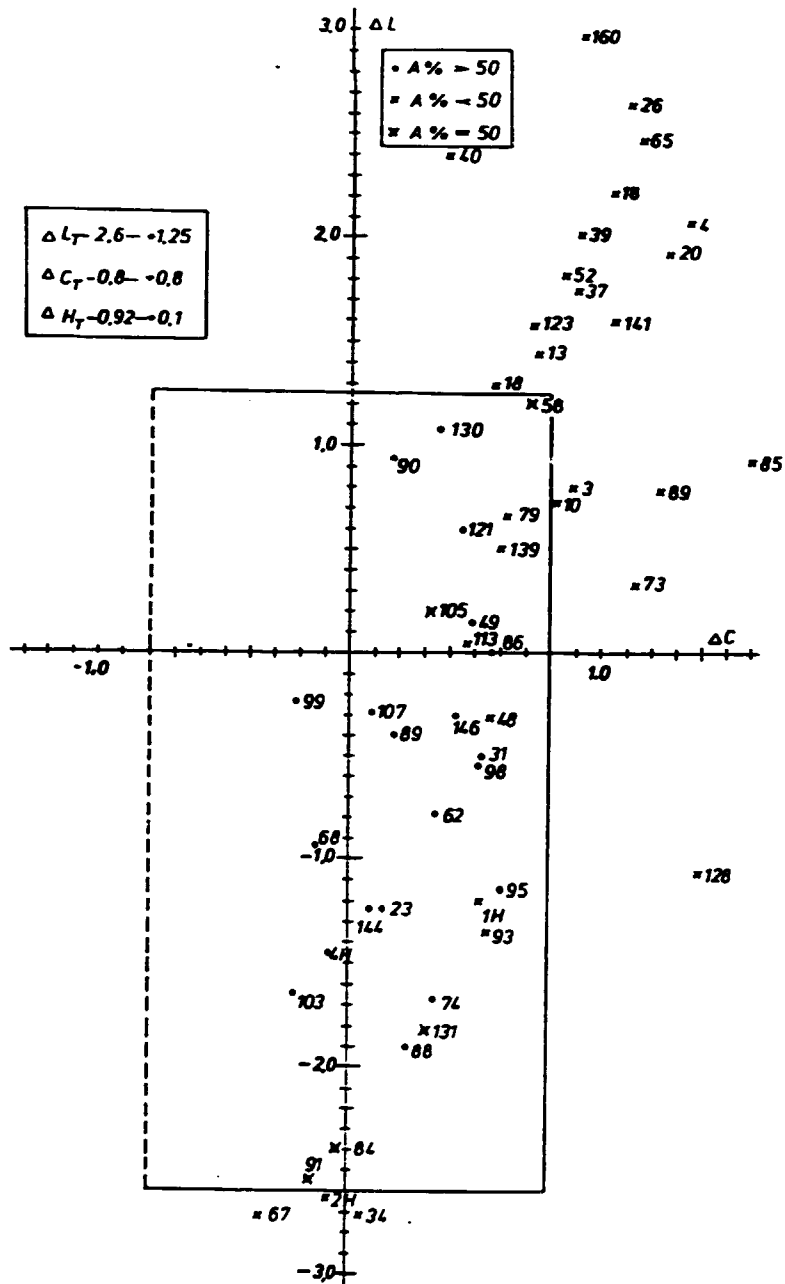
Acceptability criterion:

$$-\Delta L_t \leq \Delta L^{\circ} \leq +\Delta L_t, \text{ and}$$

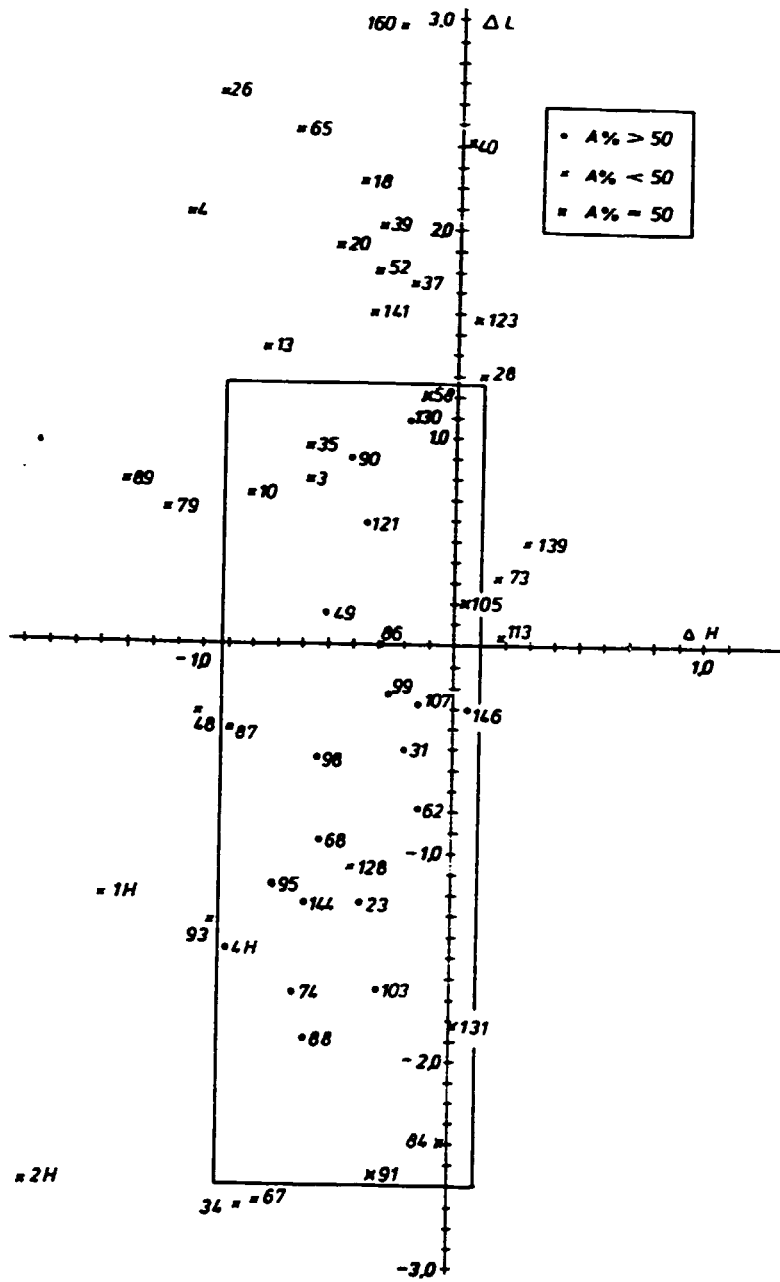
$$-\Delta C_t \leq \Delta C^{\circ}_{ab} \leq +\Delta C_t, \text{ and}$$

$$-\Delta H_t \leq \Delta H^{\circ}_{ab} \leq +\Delta H_t,$$

**Figure 66.** Basic models of establishing tolerance limits.



**Figure 67.** Marking the boundaries of acceptable/non-acceptable colours on a DL - DC diagram: tolerance limits according to the asymmetrical rectangular box model.



**Figure 68.** Marking the boundaries of acceptable on-acceptable colours on a DL - DH diagram: tolerance limits according to the asymmetrical rectangular box model.

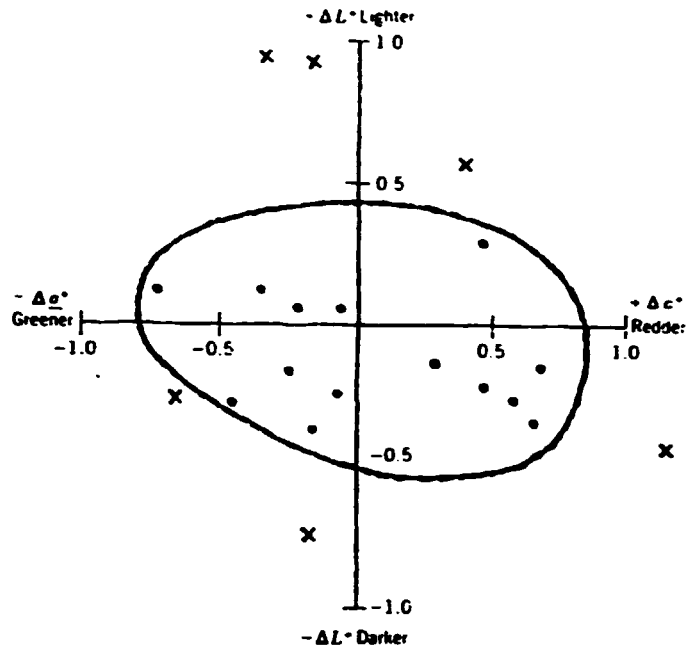


Figure 69. Marking the boundaries of acceptable / non-acceptable colours on a  $Da^*$  -  $Db^*$  diagram: tolerance limits drawn as irregular figures.

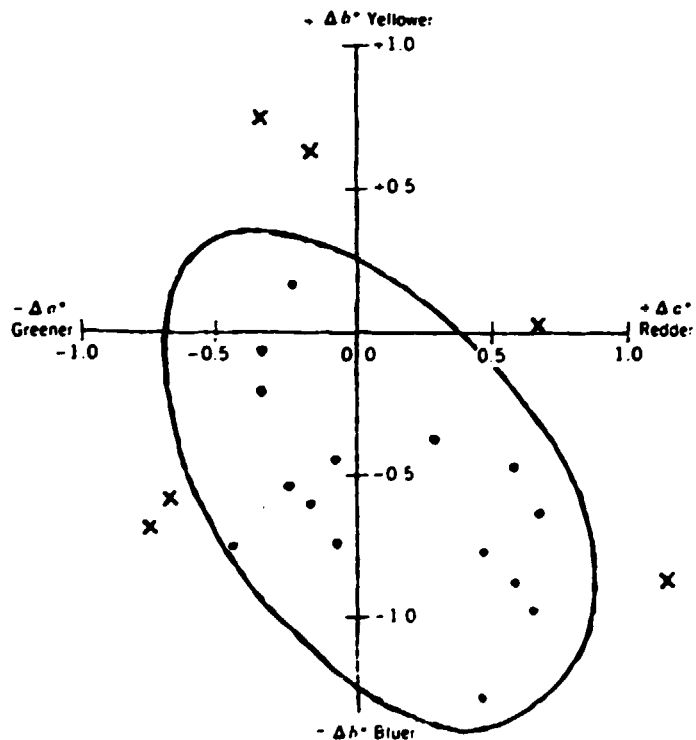
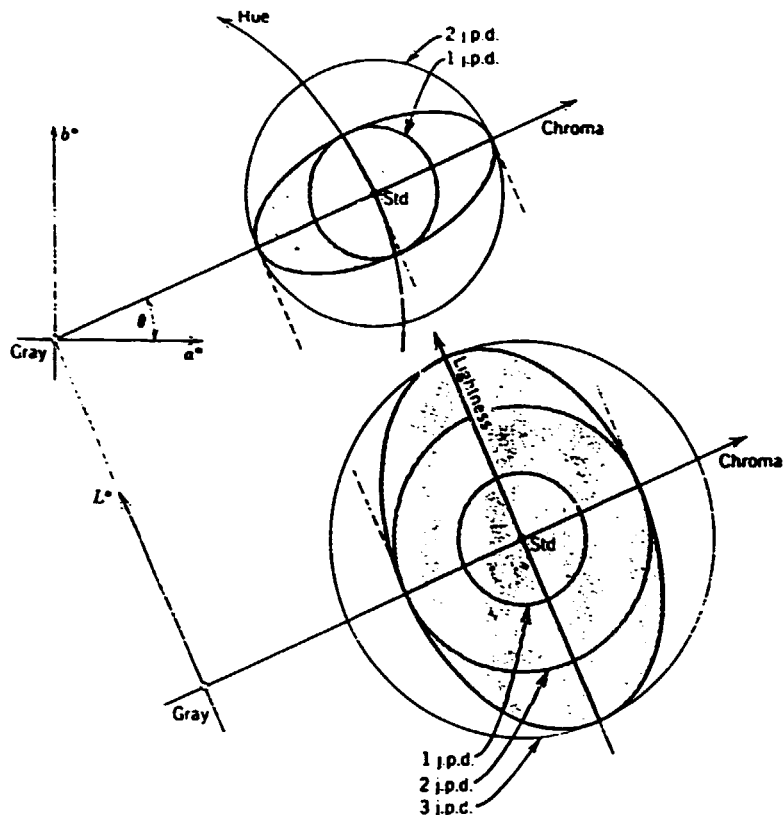


Figure 70. Marking the boundaries of acceptable / non-acceptable colours on a  $DL^*$  -  $Da^*$  diagram: tolerance limits drawn as irregular figures.



**Figure 71.** Cross sections of tolerance ellipsoid through  $L^*a^*b^*$  colour space. In this example lightness limits are made equal to 3 j.p.d. (just perceptible difference) units, chroma limits to 2 j.p.d. and hue limits to 1 j.p.d.

Both the tolerance formula of Marks and Spencer (M&S 83) and that of the Colour Measurement Committee of the Society of Dyers and Colourists (CMC) are based on tolerance ellipsoids just as the one shown above, but the tolerance limits vary throughout colour space according to the respective formulae.

The following equation defines the CMC(1:c) formula:

$$\Delta E(\text{CMC}) = \left[ \left( \frac{\Delta L^*}{S_L} \right)^2 + \left( \frac{\Delta C^*}{cS_C} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H^*}{S_H} \right)^2 \right]^{1/2}$$

where  $S_L = 0.040975 L^* / (1 + 0.01765 L^*)$

unless  $L^* < 16$  when  $S_L = 0.511$

$S_C = 0.0638 C^* / (1 + 0.0131 C^*) + 0.638$

$S_H = S_C (T + 1 - f)$

$f = \{ (C^*)^2 / (C^*)^2 + 1900 \}^{1/2}$

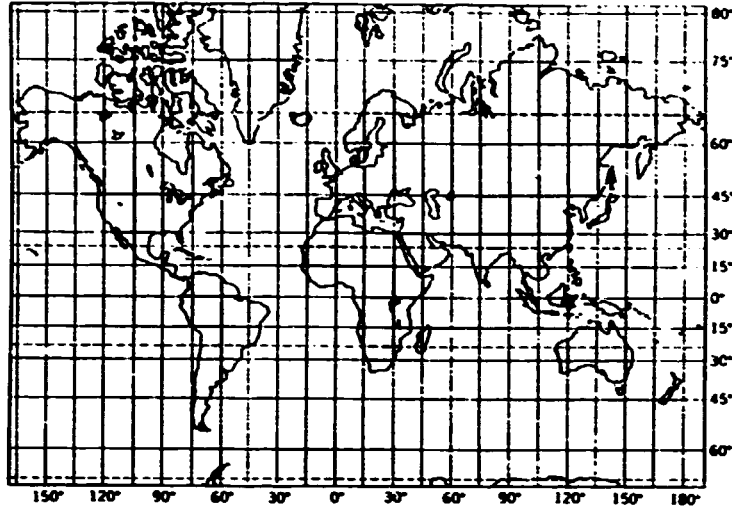
$T = 0.36 + |0.4 \cos(h - 35)|$

unless  $h$ , is between 164 and 345° when

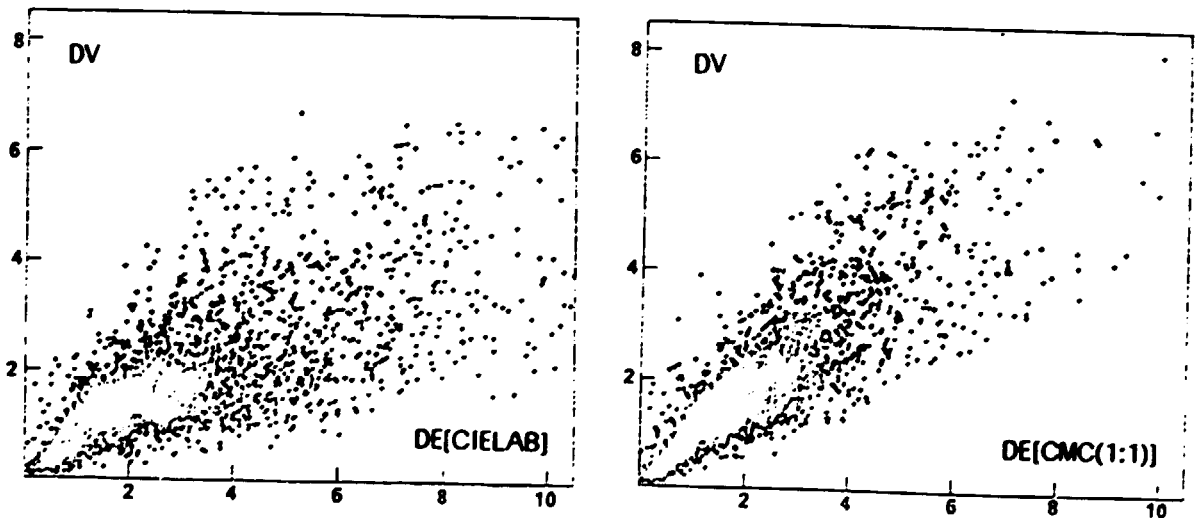
$T = 0.56 + |0.2 \cos(h - 168)|$

$L^*$ ,  $C^*$  and  $h$ , refer to the standard of a pair of samples, these values and  $\Delta L^*$ ,  $\Delta C^*$ , and  $\Delta H^*$  being calculated from the CIE  $L^*a^*b^*$  formula.





**Figure 72.** The difference between CIELAB and the CMC(1:c) resp. the M&S 83 formulae can best be illustrated by saying, that CIELAB gives a good overall description of colour space, just like the map on the figure above gives a fairly good description of the five continents. However, for determining small distances at any one location both the World Map and CIELAB prove to be inadequate, for that we would need a collection of local maps, and the tolerance formulae can best be thought of, as a system of such maps.



**Figure 73.** Improvement of correlation between visual (DV) and instrumental (DE) colour assessment, brought about by the use of the CMC tolerance formula.

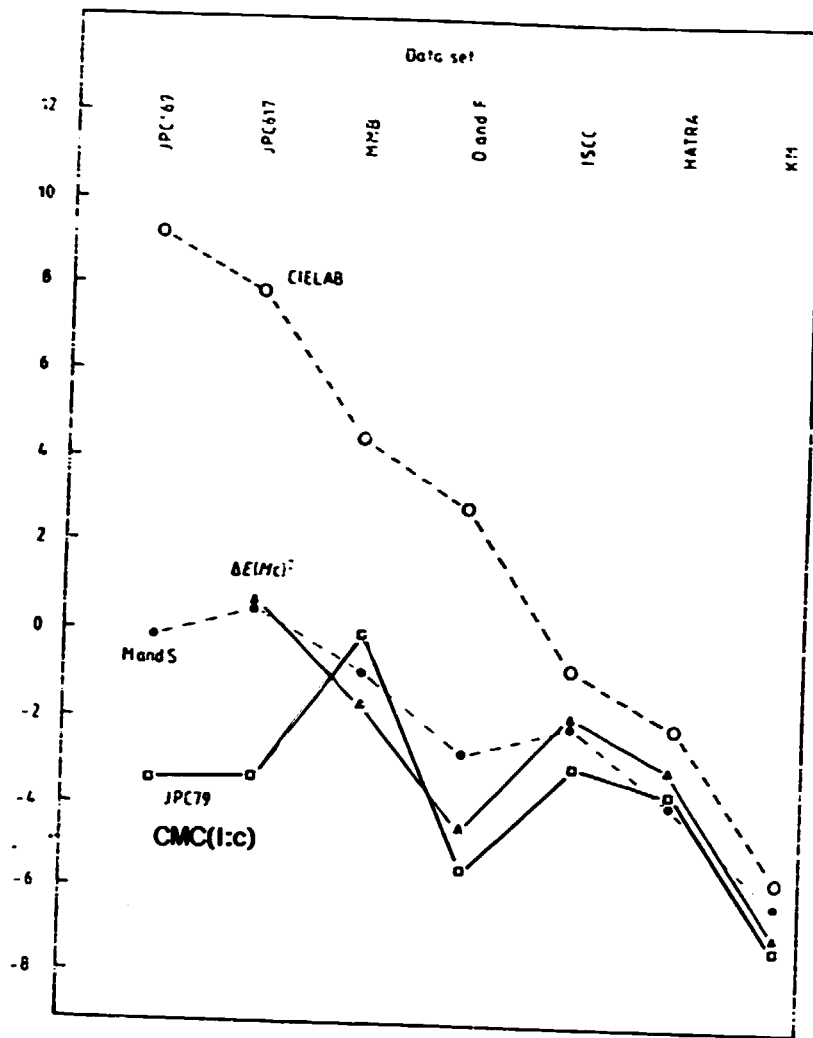
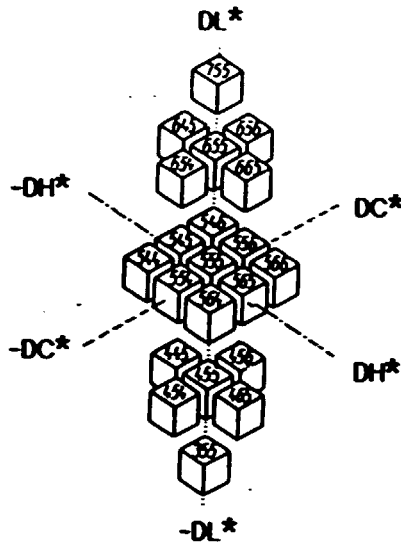


Figure 74. Reliability of a number of tolerance equations.

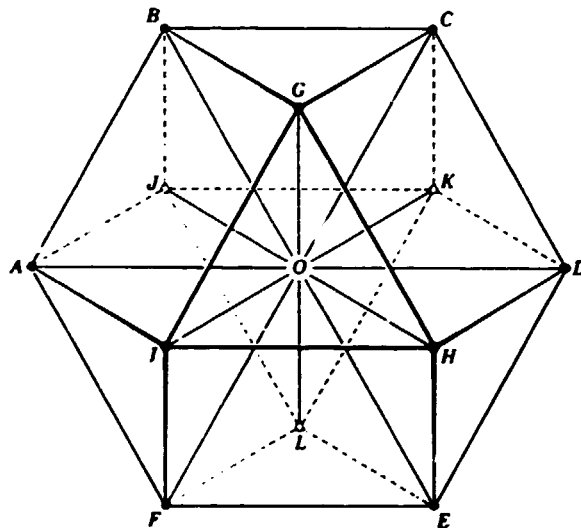
Sample sets†	Average visual observer	Wrong decisions (%) in each model						
		Sphere $\Delta E^*_{ab}$	Ellipsoid			Fitted [10]	Box [18]	Asymmetrical box [13]
			McDonald formulae [11]					
			$\Delta E^*_{McD}(C)$	$\Delta E^*_{McD}(D)$	$\Delta E^*_{JPC'79}$			
Fenyvesi-Kiss-Kónya [13] (a3, b147, c10-15)	23.3	23.8	23.1	22.5	21.8			2.0
Davidson-Friede [14] (a19, b287, c8)	17.1	20.6	11.8	11.1	11.5	9.1	14.3	0.7
Robinson [15] (a1, b31, c132)		3.2						0.0
AATCC [16] (a10, b189, c16)		11.1	12.5	13.1	13.1			1.1
Kuehni [17] (a6, b179, c26)		11.2	9.5	7.8	7.3			2.8
J & P Coats [10] (a55, b640, c8)	13.2	21.4	9.6	8.4	9.7	3.4		
J & P Coats [11] (a599, b8454, c1)	(7.8)	22.7	16.2	16.3	13.6	(2.7)		

Figure 75. Reliability of a number of tolerance equations corresponding to the four basic tolerance models.

### Colour sorting, colour library

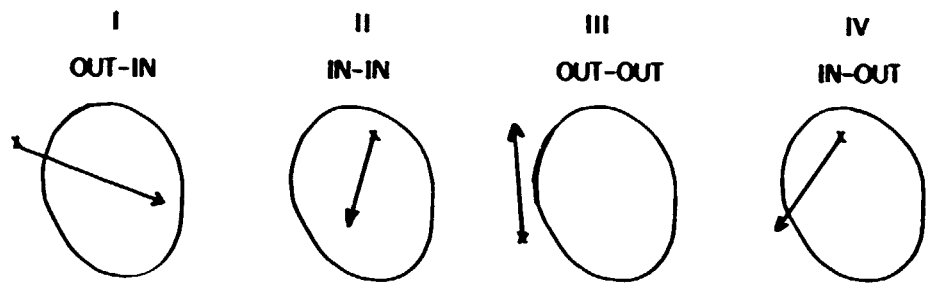


**Figure 76.** Sorting colours into "boxes" in CIELAB colour space. Colours in any one of the boxes are within tolerance for the central colour of the respective box as standard.



**Figure 77.** Some advanced colour sorting systems use polyhedrons (such as the cubo-octahedron in the figure above) instead of cubes for "boxes" in shade sorting, thus reducing the inequality of the distance between the centre colour and those in the corners of the box.

## COLOUR MATCHING



**Figure 78.** The four possible cases of the last visual correction by the colourist:

I: necessary and successful	23.5%
II: unnecessary, no harm done	65.2%
III: necessary, unseccessful	8.3%
IV: unnecessary, harmful	3.0%

Sample	Instrumental			Visual (average of three laboratories)			Cost reduction (%)†
	1	2	3	1	2	3	
Yellow	2	0.4	0.4	4.3	4.9	0.8	37.2
Red	2	2.3	0.5	5.0	2.4	1.0	40.0
Brown	1	0.9	0.6	8.0	1.9	1.5	20.1
Deep purple	1	0.8	0.4	7.7	1.2	1.9	65.3
Light purple	1	0.4	0.2	2.3	1.7	0.5	—
Khaki	1	1.1	0.5	5.3	1.9	0.3	64.8
Light green	1	0.7	0.4	10.3	2.2	0.9	13.4
Dark green	1	0.5	0.7	7.3	2.7	1.5	12.2
Bottle green	2	0.6	0.1	4.7	1.5	0.9	52.7
Blue	1	0.7	0.1	5.7	1.6	0.3	20.1
Average	1.3	0.8	0.4	6.0	2.2	1.0	32.6

1 - Number of attempts

2 -  $\Delta E$  (ANLAB 40) sample vs match

3 - Metamerism index

$$\text{Cost reduction (\%)} = 100 - \left( 100 \cdot \frac{\text{Cost of instrumental matching}}{\text{Average cost of visual matching}} \right)$$

where 'cost' is the total price of dyes needed to dye 100 kg of substrate

**Figure 79.** Instrumental vs. visual colour matching

Factors influencing the colour of dyed textiles

	Dye uptake	Apparent colour
Substrate (colour, fineness, yarn, weave etc.)	x	x
Pre-dyeing treatments		
e.g. heat treatment	x	x
mercerising	x	x
scouring	x	x
DYEING PROCESS	X	X
Post-dyeing treatments		
e.g. mecerising		x
heat treatment (setting, thermosol)		x
finishing		x
Sample presentation		x

Figure 80. The most important factors influencing the colour of dyed textile materials.

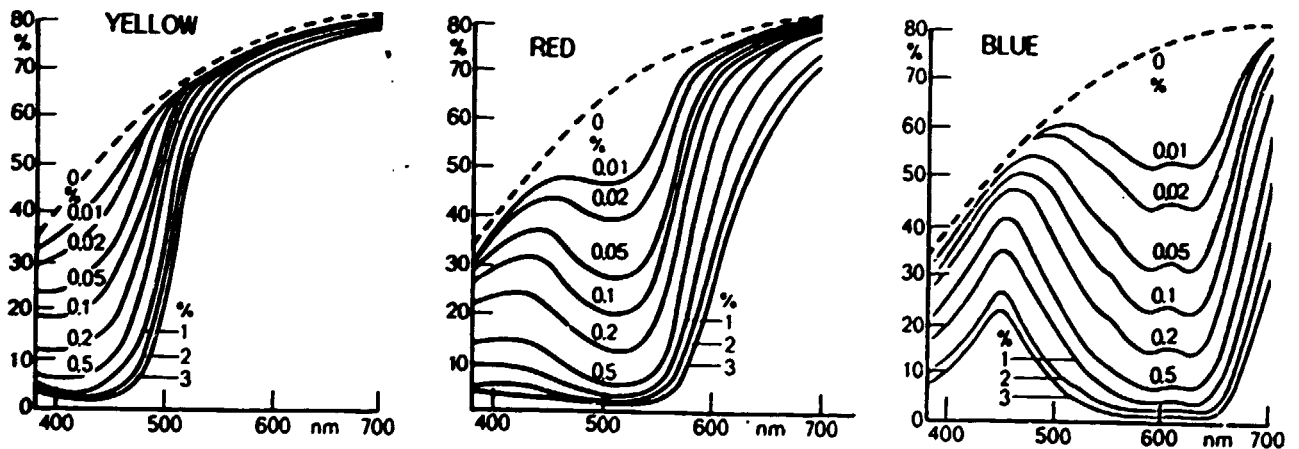
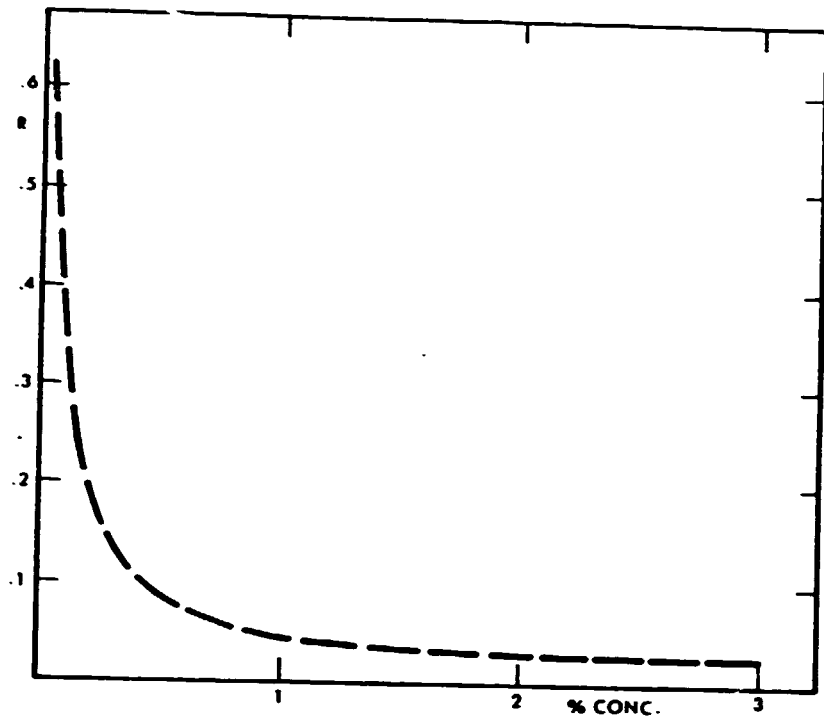
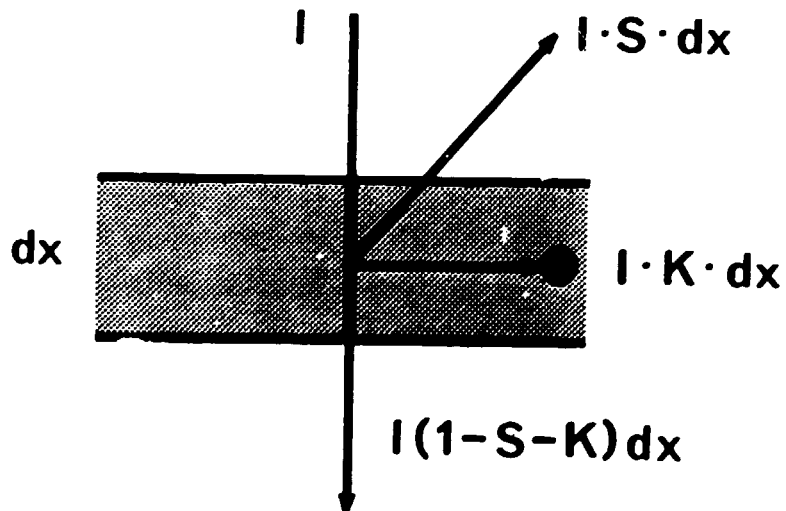


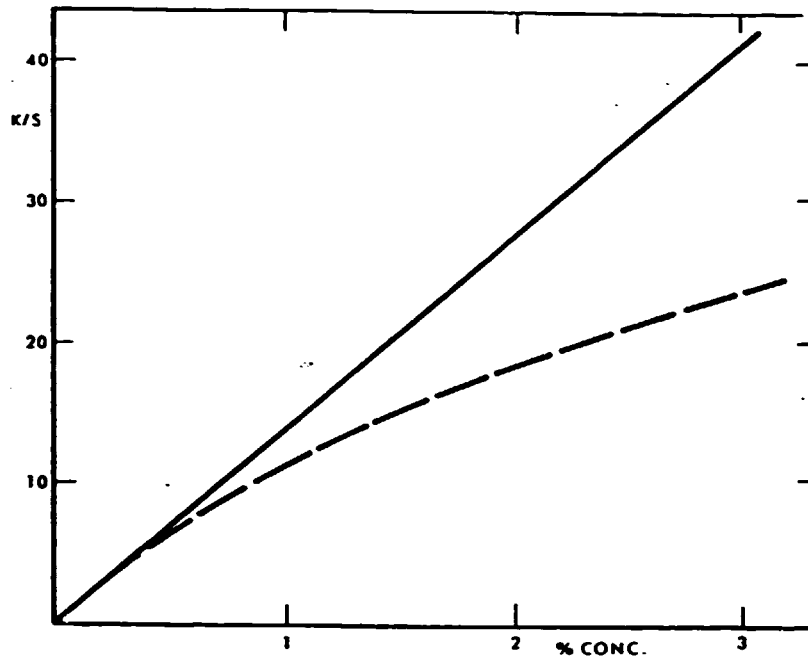
Figure 81. Typical spectral reflectance curves of dyeings made with increasing concentrations of yellow, red resp. blue dyes.



**Figure 82.** Spectral reflectance factor at the absorption maximum vs. dyestuff concentration.



**Figure 83.** A simplified model of the Kubelka-Munk theory. In a coloured layer absorbance of the incident light flux [I] is proportional to the absorption coefficient [K], and scattering of the light to the scattering coefficient [S], both absorbance and scattering being proportional also to the elementary layer thickness [dx].



**Figure 84.** K/S vs. concentration.

For dyed textiles (and other fibrous materials) the scattering is attributed only to the substrate, the colorant concentration thus becomes proportional to the ratio of K and S, i.e. the K/S "Kubelka-Munk" values.

The Kubelka-Munk theory calculates with the amount of dyestuff actually on the fibre, so one of the main causes of the non-linearity is the discrepancy between dye-in-the-bath vs. dye-on-the-fibre.

Other reasons may include the surface reflectance (which for dark, glossy materials can be significant - see Fig. 34 on p. 21, and is taken care of by corrections known as "Pineo" and "Saunderson"), and also the inaccuracies inherent in the theory itself.

<b>To describe:</b>	
THE AMOUNT OF DYESTUFF ON THE FIBRE:	K/S
THE COLOUR OF THE SAMPLE:	CIELAB
THE CHANGE IN THE COLOUR OF THE SAMPLE:	D[E,LCH]

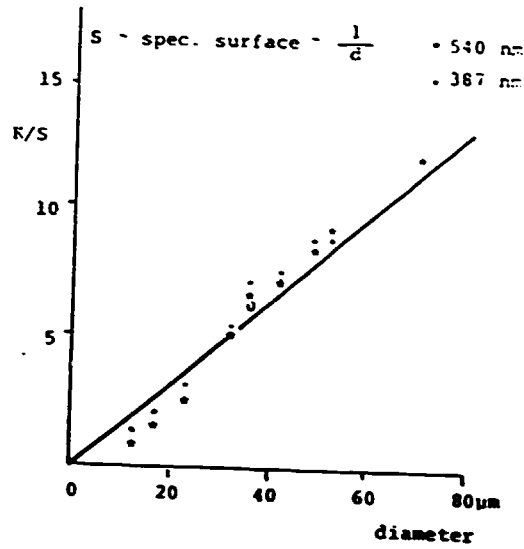


Figure 85. Effect of fibre diameter on K/S at two wavelengths with equal K/S.

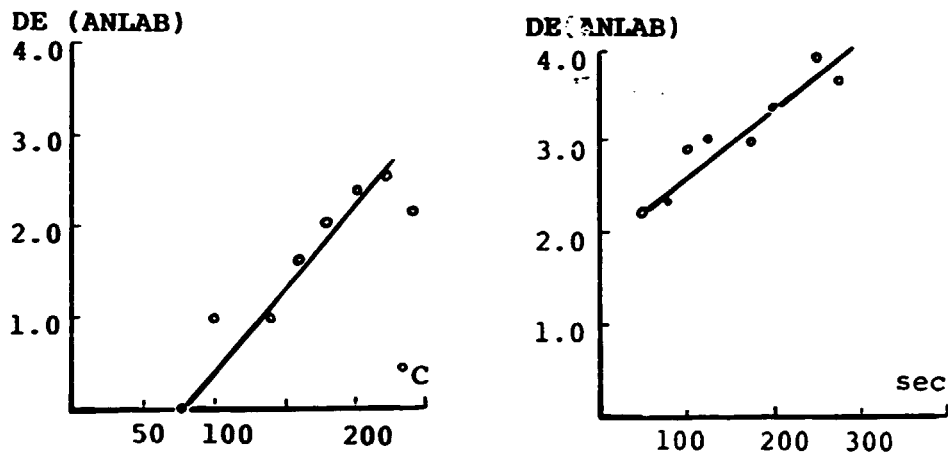


Figure 86. The influence of heat treatments on the reactive dyeing of cotton fabric: total colour difference DE (a) for 50 sec at various temperatures (b) at 160°C for various times

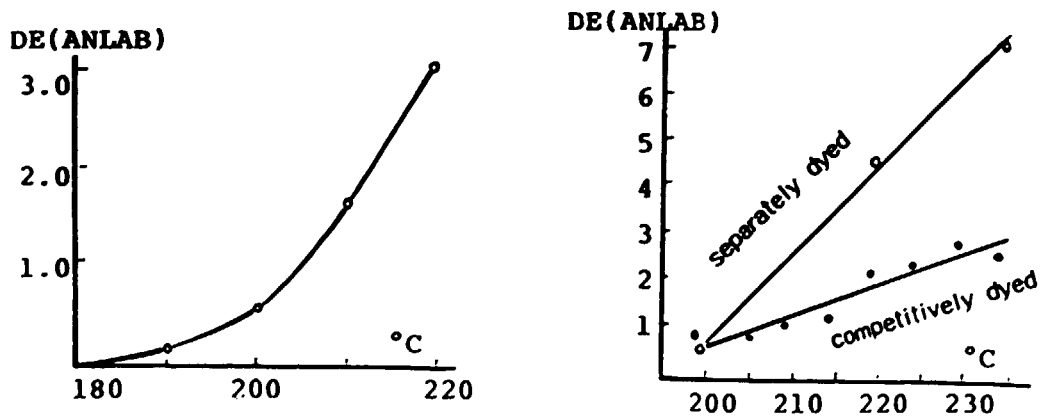


Figure 87. The influence of heat-setting temperature on the colour of polyester: total colour difference DE(ANLAB). (a) sewing thread (b) woven fabric (filament warp/staple weft)



Variations in dyebath conditions

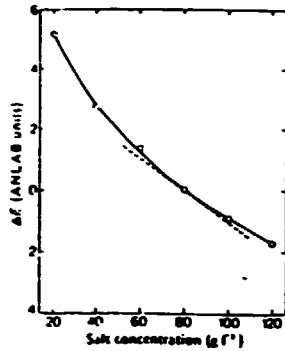


Figure 88. Interpretation of colour difference data: effect of salt concentration on Procion H dyes.

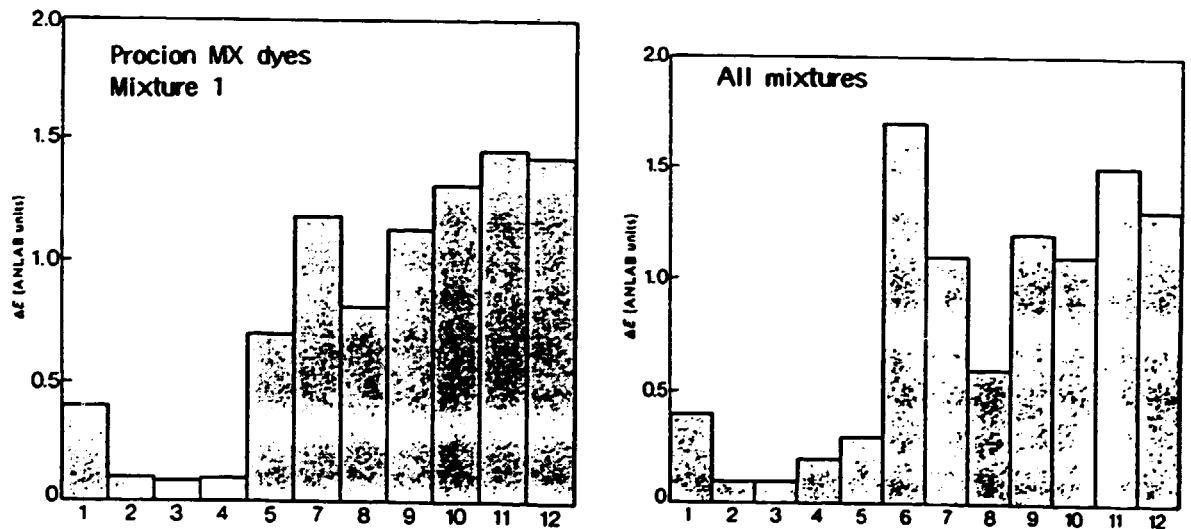
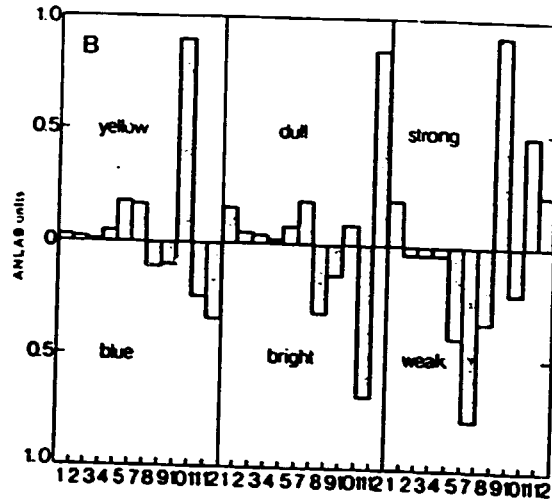


Figure 89. Effect of 10% variations in dyebath conditions on the colour of cotton dyed with reactive dyes.

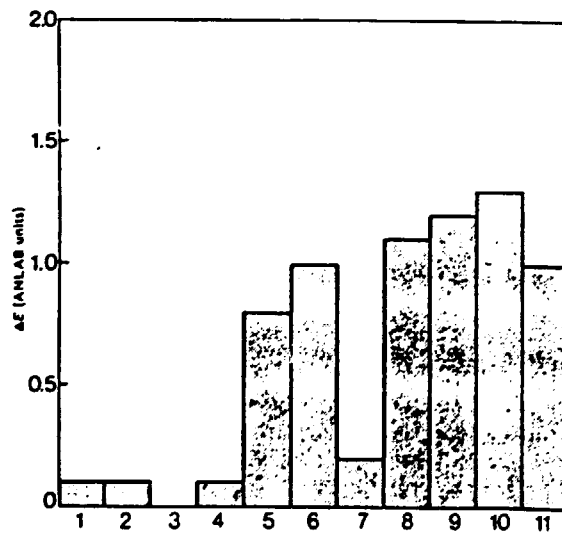
The figures refer to total colour change, i.e. ΔE in ANLAB units

Dye Mixture	NaCl concn	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> concn	Time before addition of alkali	Time after addition of alkali	Variable		Wt of cloth	Vol. of dyebath	Dye concn All	Dye concn Yellow only	Dye concn Red only	Dye concn Blue only
					Temperature before addition of alkali	Temperature after addition of alkali						
Procion MX Mixture 1	0.4	0.1	0.1	0.1	0.7		1.1	0.8	1.1	1.2	1.5	1.4
Procion MX Mixture 2	0.5	0.1	0.1	0.3	0.9		0.9	0.8	1.5	0.7	1.6	1.2
Procion H Mixture 1	0.5	0.1	0	0.3	0.4	2.0	1.1	0.6	1.1	1.0	1.2	1.1
Procion H Mixture 2	0.5	0.2	0.1	0.3	0.5	2.7	1.1	0.7	1.2	1.2	1.5	0.9
Procion H-E Mixture 1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.9	1.1	0.3	1.2	1.1	1.4	1.4
Procion H-E Mixture 2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	1.1	1.2	0.4	1.2	1.2	1.4	1.4
Procion H-E Mixture 3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.6	1.2	0.4	1.0	1.3	1.6	1.3
Average ΔE	0.4	0.1	0.1	0.2	0.3*	1.7*	1.1	0.6	1.2	1.1	1.5	1.3
Key for Figures	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

\* Omitting Procion MX Mixtures 1 and 2



**Figure 90.** Effect of 10% variations in dyebath conditions on the hue, brightness and strength of cotton dyed with Procion MX dyes, Mixture 1.



**Figure 91.** Average effect of 10% variations in dyebath conditions for disperse dyes.

The figures refer to total colour change, i.e.  $\Delta E$  ANLAB units

Dye mixture		Variable										
		Acetic acid (80% concn)	Metacell DA-AC concn	Saccolapex 5001 concn	Time	Temp.	Wt of cloth	Vol of dyebath	Dye concn All	Dye concn Yellow only	Dye concn Red only	Dye concn Blue only
Disperse dye	Mixture 1	0	0.1	0	0.1	1.0	1.0	0.3	1.1	1.4	1.4	1.0
Disperse dye	Mixture 2	0.1	0	0	0.1	0.5	0.9	0.1	1.0	1.1	1.2	1.0
Disperse dye	Mixture 3	0.1	0	0	0.1	0.8	1.2	0.1	1.2	1.1	1.3	1.1
Average $\Delta E$		0.1	0.1	0	0.1	0.8	1.0	0.2	1.1	1.2	1.3	1.0
Key for Figure		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

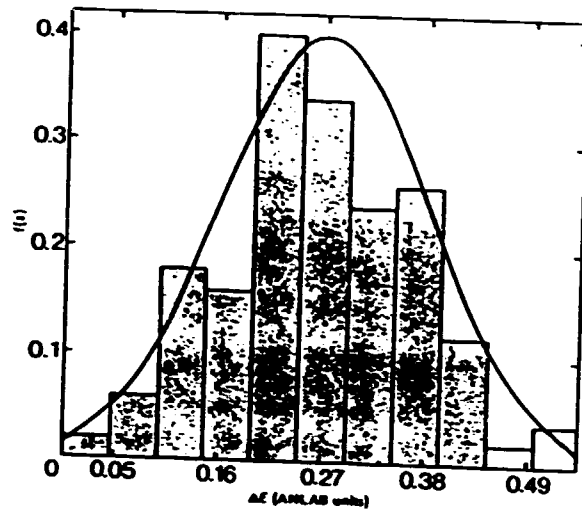


Figure 92. Reproducibility of control dyeings with respect to average control (results of 93 measurements).

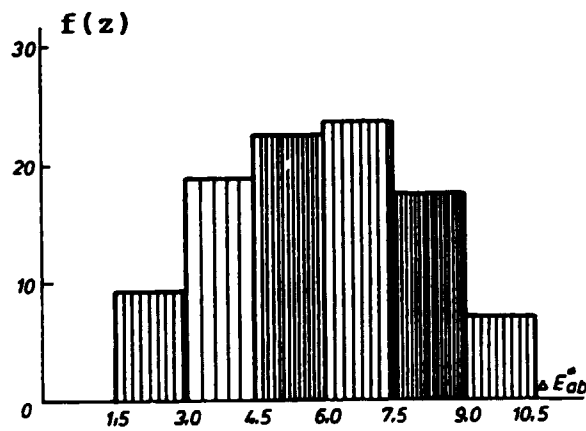


Figure 93. Frequency distribution  $f(z)$  of total colour difference  $\Delta E_{ab}^*$  between mercerized and not mercerized cotton fabrics of different colours.

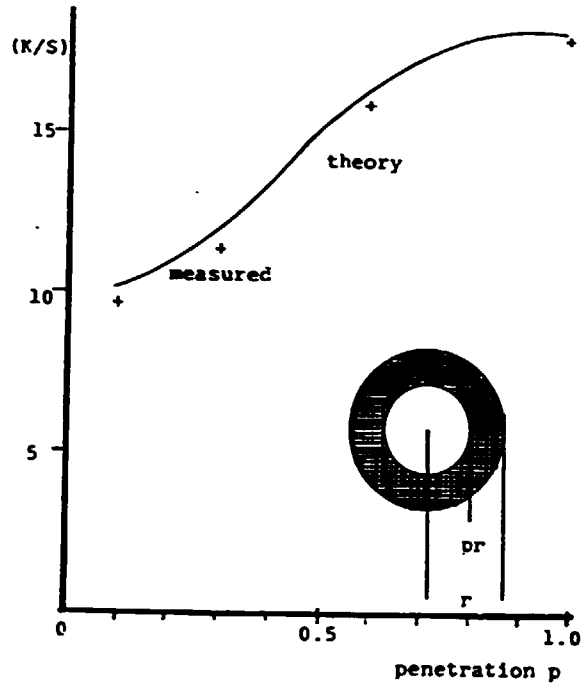


Figure 94. Effect of penetration  $[p=pr/r]$  on K/S values.

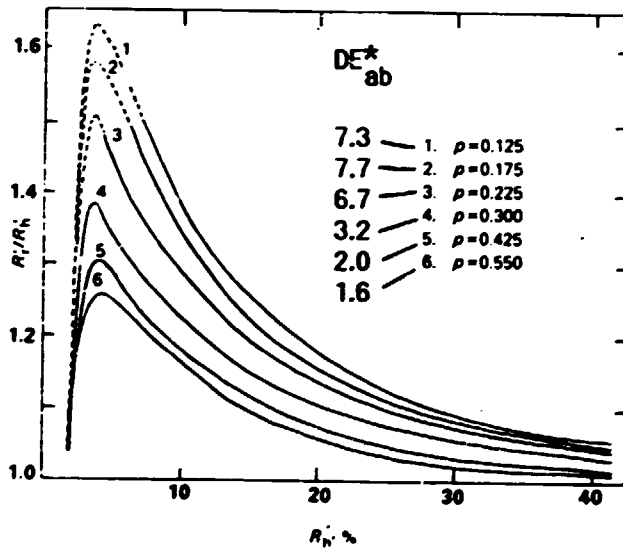
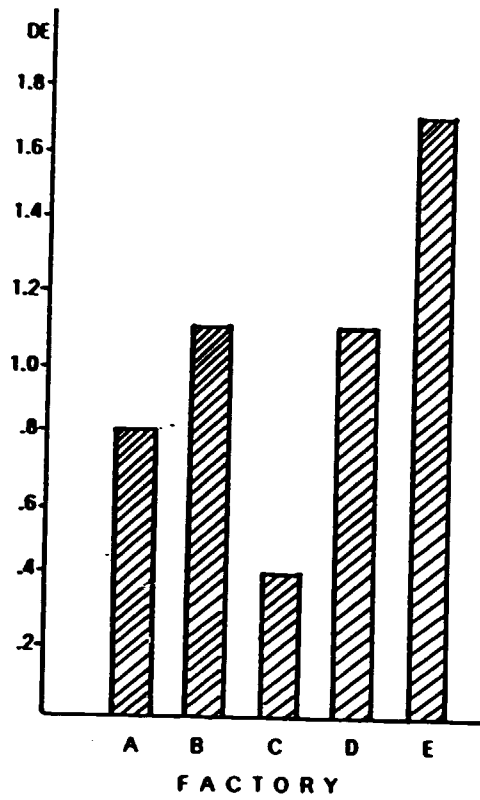
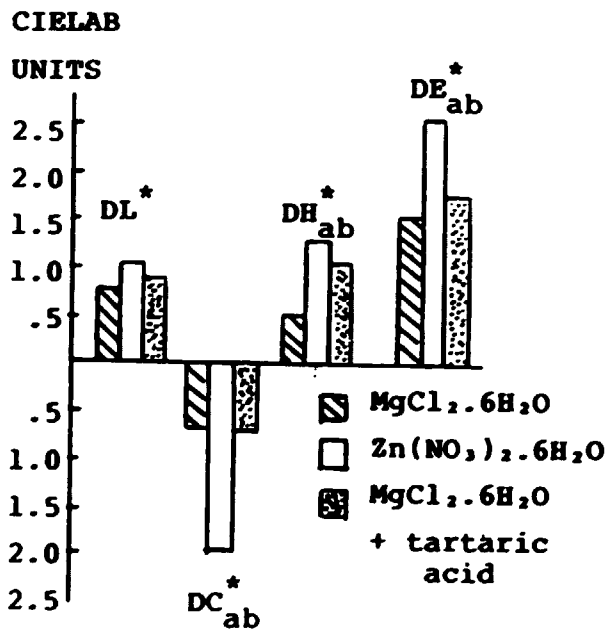


Figure 95. Effect of penetration  $p$  on the reflectance (relative to the homogeneously dyed fibre) and on colour difference  $DE_{ab}^*$  for six levels of penetration 1-6.



**Figure 96.** Effect of finishing on the colour of wool fabrics. Colour difference between dyed and finished samples, finished by five factories A to E.



**Figure 97.** Effect of catalysts used in resin finishing on the colour of dyed cotton fabrics (average values for several samples of different colours.)

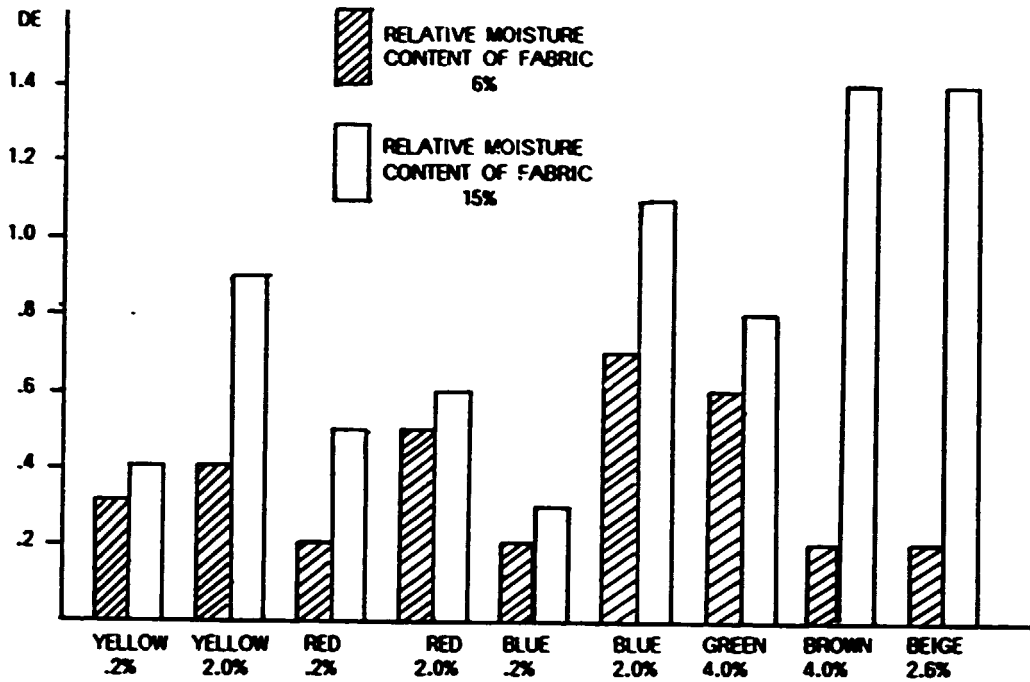
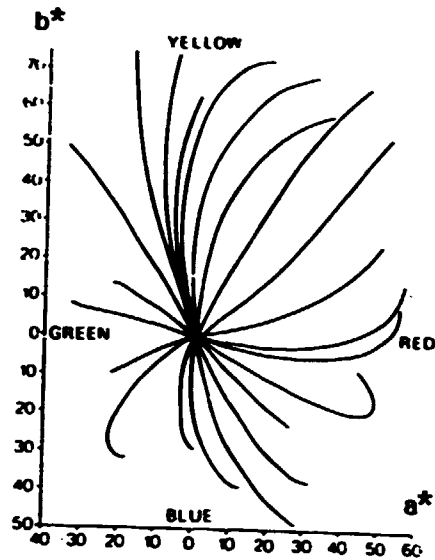
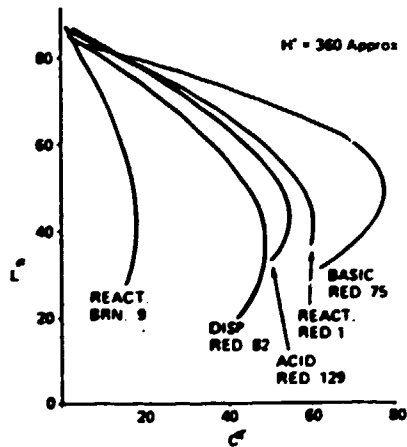


Figure 98. Effect of relative moisture content on the colour of a number of cotton samples dyed with different amounts of dyestuffs.

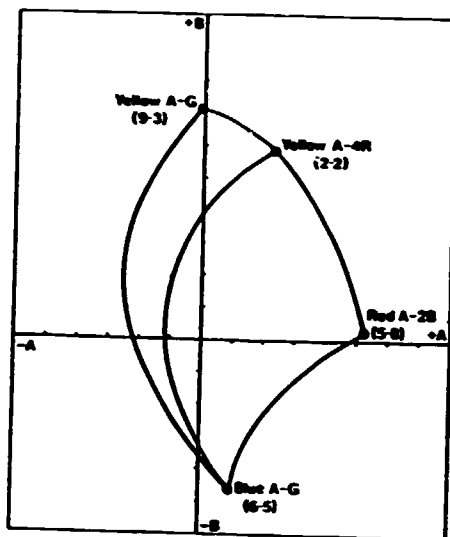
### Dyestuff selection



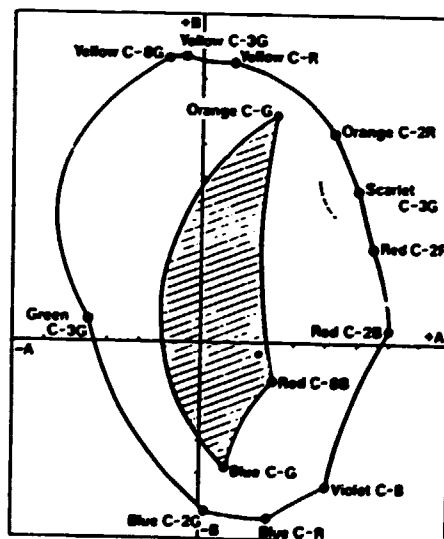
**Figure 99.** Build-up curves of different dyes on the CIELAB  $a^*b^*$  diagram.



**Figure 100.** Build-up curves of red dyes of different intrinsic brightness on the CIELAB  $L^*C^*$  diagram.



**Figure 101.** Lines of binary mixtures of Nylomine A dyes on nylon fabric at 1/2 Control Depth on an A-B diagram.



**Figure 102.** Colour gamuts of Nylomine C dyes on nylon fabric at 1/1 Control Depth on an A-B diagram.



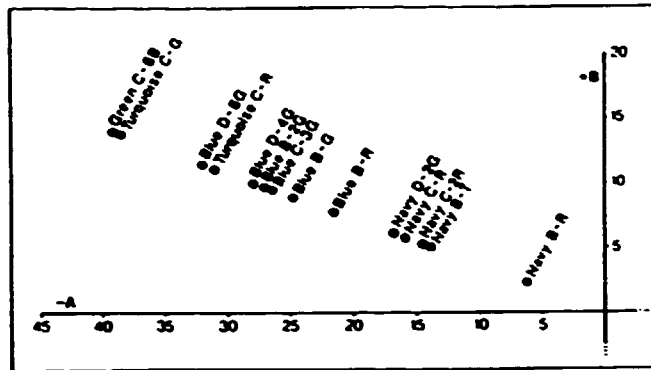


Figure 103. Equal hue dyeings on texturized polyester fabric at 1/1 Control Depth (using the Dispersol "blue" dyes shown with Dispersol Yellow C-5G).

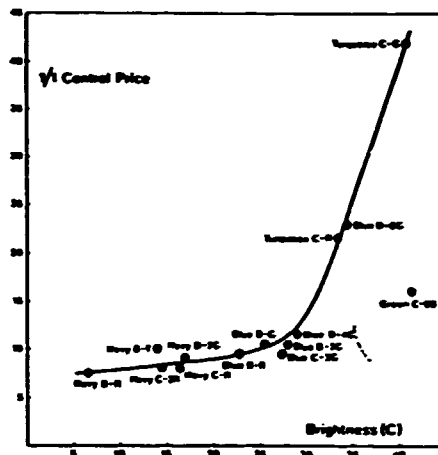


Figure 104. Cost/brightness relationship for green dyeings on texturized polyester fabric at 1/1 Control Depth (using the Dispersol "blue" dyes shown with Dispersol Yellow C-5G).

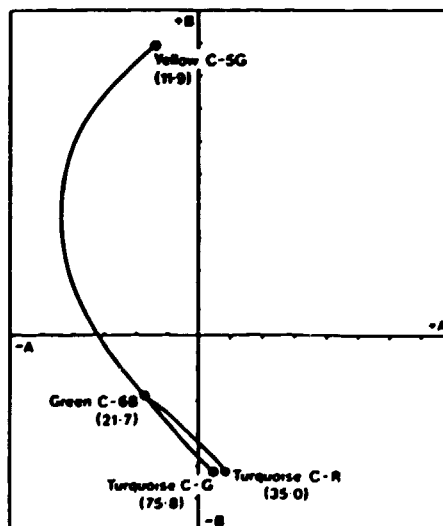


Figure 105. Lines of binary mixtures of disperse dyes on texturized polyester fabric at 1/1 Control Depth.

### Simplification of Computer Match Prediction

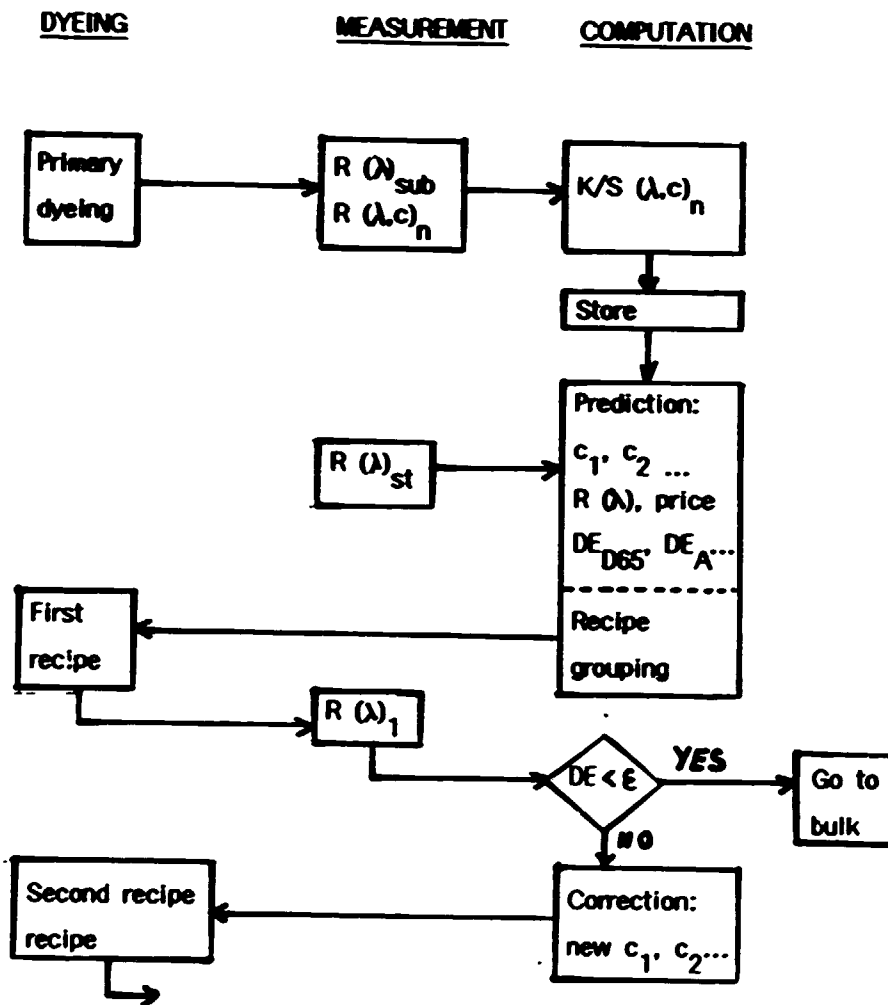


Figure 106.

Complex flow-chart of Computer Match Prediction

THINK/LOOK                      DYEING                      MEASUREMENT                      COMPUTATION                      THINK/LOOK

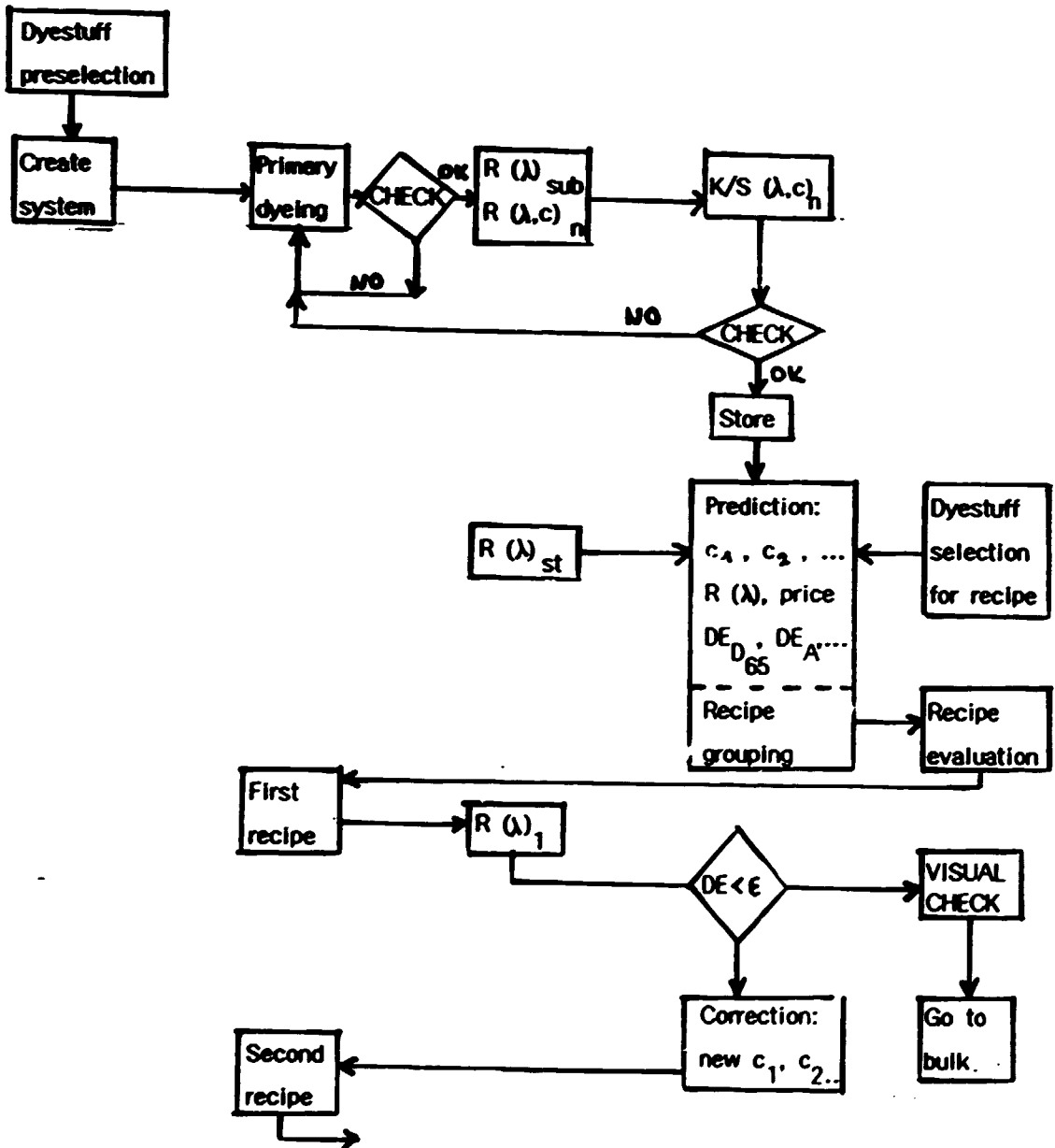


Figure 107.