



**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)

21543

Distr.  
RESTRICTED

HED/R.21  
10 May 1996

UNITED NATIONS  
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION

ORIGINAL: ENGLISH

**TECHNO-ADVISORY AND PREPARATORY ASSISTANCE TO THE MINISTRY OF  
INDUSTRY AND COMMERCE OF PARAGUAY TO IDENTIFY AREAS OF  
COOPERATION IN THE FRAMEWORK OF PROJECT PAR/91/007**

UC/PAR/94/087

PARAGUAY

**Technical report: Preinvestment studies of the fertilizers project\***

Prepared for the Government of Paraguay  
by the United Nations Industrial Development Organization

*Based on the work of J. A. Kopytowski,  
consultant in fertilizers technology*

Backstopping officer: V. Gregor  
Enterprise Development and Restructuring Branch

---

\* The views expressed in this document are those of the author and do not necessarily reflect those of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). Mention of the company names and commercial products does not imply the endorsement of UNIDO. This document has not been edited.

V.96 83446

## TABLE OF CONTENTS

	pages
I. ABSTRACT	4
II. INTRODUCTION	4
III. EXPERT'S ACTIVITIES	4
1.1 Mission schedule	4
1.2 List of persons met and contacted by mail	5
IV. MISSION FINDINGS	5
2.1 General assessment	5
2.2 Instructions for the FPMT to prepare:	9
- raw materials' evaluation	9
- location study and location selection	10
- confirmation market study	11
2.3 Preliminary format of the inquiry (to invite offers for the supply of the fertilizer plant)	13
a) Introduction	14
b) Object of the offer	15
- definitions	15
- raw materials	16
. natural gas	16
. phosphate rock	16
- location and site	17
. land available	17
. transportation limitations	17
. meteorological data	17
. soils and seismic conditions	17
. electric power	17
. water	17
. supply area	18
. preliminary plot plan (Annex III)	18
. list of prices	18
c) Scope of the offer	18
- Modalities of an offer presentation	18
- Products	19
- Technology process	19
- Equipment	20
- Catalysts and chemicals	21
- Services	21
- Standards and codes	22
- Time schedule	22
- Environmental requirements	23
- Price	23
- Suppliers credit options for equipment and services	24
- References	24
- Selection of contractor: criteria	24

2.4	Training programme for FPMT and related materials (Period April 96)	25
-----	---	----

V. ANNEXES

ANNEX	I	Job Description	27
ANNEX	II	Structures of the Fertilizer Plant	28
ANNEX	III	Plot Plan of the Fertilizer Plant	31
ANNEX	IV	Metodologias de estimacion de la demanda de fertilizantes	33
ANNEX	V	Avances en la tecnologia de fertilizantes	41

## I. ABSTRACT

To strengthen the management capacity of the Ministry of Industry and Commerce (MIC) of the Republic of Paraguay, project PAR/91/007 has been launched as a part of public sector reform. PAR/91/007 is executed nationally and has achieved improvements in the operative capacity of MIC. However, further capacity building is necessary in identification of the business opportunities oriented accordingly to the country strategy industrialization proposals.

UNIDO preparatory assistance project UC/PAR/94/087 is aiming to advise the MIC in industrialization approaches of development of selected industrial sub-sectors and define the programme of action as well as technical cooperation with UNIDO. This report is a third advisory note prepared for the Ministry of Industry and Commerce and PETROPAR at the pre-investment stage necessary to prepare and distribute inquiries for the fertilizer plant in Paraguay. The final format of inquiries and their dispatching to licensors would be executed during the mission of CTA in April 1996 to Asuncion.

## II. INTRODUCTION

The Government of Paraguay is considering the Fertilizer Project as one of the industrialization priorities. The plant would consume the major part of already contracted amount of natural gas from Bolivia. Currently there are not other outlets possibly consuming this amount of gas.

The considered Fertilizer Project seems to be attractive for Paraguayan industry, as it is fulfilling all country economy development strategic parameters as well as shows preliminary satisfactory feasibility. It seems that private industry itself or jointly with the foreign interest, could be interested in implementation of this project. Accordingly to the developed time table of activities in the UNIDO/MIC trust fund project (SF/PAR/001/96) the local Fertilizer Project Management Team has been established at the PETROPAR Co. and is collecting information necessary to prepare the commercial inquiry for the supplies of equipment and services for the fertilizer plant. This report is a support advisory note for the FPMT to allow them to prepare:

- assessment of the market
- preparation of proposals for location
- assessment of the availability of raw materials and their quality and prices
- fully fledged inquiry to be distributed to preliminary selected suppliers

The personnel of the FPMT has a limited experience in the implementation of the large scale investment projects. Therefore, UNIDO prepared this instructions as well as the training programme which would be carried out by CTA of the project in April 1996.

## III. EXPERT'S ACTIVITIES.

### 1.1 Mission schedule

- |            |   |  |
|------------|---|--|
| 4 March    | - | Arrival to Vienna  |
| 4-25 March | - | Preparation of the documents and their dispatching to Asuncion |
| 26 March   | - | Departure to Warsaw  |

1.2. List of persons met and contacted by mail

UNIDO	-	Backstopping officer Ms. V. Gregor
		Fertilizer expert Mr. I Volodin
Chiyoda Inc.	-	Mr. Seiken Terada
Uhde Co	-	Mr. R. Staehler
Fluor Daniel Inc.	-	Mr. L. Orłowski
Norsk Hydro Inc.	-	Mr. Per Frederick Adler
Kellog Ltd.	-	Mr. Rod Blackmon
Lurgi AG	-	Licensing department
ATO Chemie SA	-	Licensing department

IV. MISSION FINDINGS

The Government of Paraguay is considering the Fertilizer Project as one of the industrialization priorities. The plant would consume the most part of already contracted amount of natural gas from Bolivia. Currently there are not other industrial outlets to consume this amount of gas.

The following information papers have been prepared during the mission:

- general assessment of the technological options
- instructions to prepare the studies:
  - assessment of the demand
  - identification of the site
  - raw materials assessment (availability and quality)

Theses have been dispatched to Asuncion as a support notes for FPMT to take the action and collect the necessary information.

- preliminary format of the inquiry

2.1 General assessment of the technological options

The preliminary basic structures of the fertilizer plant have been selected considering the economic and environmental parameters. These structures are shown on the flowsheets.

The objective of the project is to establish the Fertilizer Plant composed from the following installations:

Installations	Capacities
Ammonia installation	600 MTD
Nitric acid installation	1000 MTPD
Nitrophosphate installation	1080 MTPD (as 22:22:0) *\\
CAN installation	860 MTPD (as 27% N)
Methanol installation	600 MTPD

\*\\ other compositions would be also required from e.g. 8:24:0 to 16:16:16  
All complementary installations inside the battery limits as well offsites are included.

2.1.1 Alternative I

The technological alternative I considers establishment only fertilizers' installations. The basic flow of materials is given on the Fig.1 (Annex II)

### 2.1.2 Alternative II

The technological alternative II considers establishment of the fertilizer s' installations as well as the methanol plant. In this alternative Contractor should investigate the possibility of preparation of the synthesis gas in one reforming unit (or partial oxidation unit). The basic flow of materials is given on the Fig.2. (Annex II).

### 2.1.3. Preferable technological solutions

The amount of natural gas (NG) available for processing in Paraguay from the Bolivian resources would amount about 500 million Nm<sup>3</sup>/year. This is too much for 600 MTPD ammonia installation which could use only 30% of this amount. Also at the beginning installation could not be operated at full capacity because the fertilizer demand would grow up in several years after start up of the installation. These constrains are leading to the concept of the combined production of the methanol and ammonia in one company and combined installations. The preferable technological solutions are those with minimal consumption of the NG and using to extend maximum possible the electrical energy as a driving force. The expected prices of NG and electrical energy in specific sites are given in paragraph 5.7

#### 2.1.3.1 Concept of the two separate lines

This alternative solves only one of the constraints: it would use about 300 million Nm<sup>3</sup>/year of the natural gas. The remaining amount of NG would be used locally by industry and communal use as well as would be reexported to neighbouring countries.

##### 2.1.3.1.1 Gas preparation technology - ammonia

In case of two separate lines the steam reforming improved version is considered for ammonia synthesis. Selection of this technology is based on the higher yield of hydrogen per 1 Nm<sup>3</sup> of NG. However, if other advantages would be found the offer for the partial oxidation is welcomed.

The list of optional unit processes in case of medium-low capacity unit of ammonia and parallel methanol process are given in the Table N1.

Table 1 Optional unit processes for ammonia production

Ammonia process units	Option 1	Option 2	Option 3
Desulphurisation	x	x	x
Primary reformer	x	x	
Primary reformer heat exchanger			x
Secondary reformer	x	x	x
HTSH	x	x	x
PSA			x
LTSC	x		
CO2 removal	x	x	x
Methanation	x	x	x
Braun purifier		x	
Final purification	x		x
Compression	x	x	x
Ammonia synthesis	x	x	x
Purge gas unit	x		
Oxygen/nitrogen cryogenic unit			x

The accompanying installations:

- cooling water treatment, boiler feed water treatment, ammonia storage, ammonia water storage, cooling tower/cold water installation, polyethylene bags, effluents treatment and offsite buildings like mechanical workshop, laboratory, office/social buildings are included.

#### 2.1.3.1.2 Gas preparation technology - methanol

The synthesis gas preparation is based also on the reforming process unit concept. The primary reformer is producing the gas with content of 7%-8% of methane which after synthesis may be recycled. The partial oxidation process could be also considered if advantages would be found by the licensor.

#### 2.1.3.1.3 Combined technology of the gas preparation by reforming or partial oxidation.

The oxygen/steam primary reforming heat exchange process unit heated by the secondary reformer gas seems to be the most economical solution.

The gas flow after primary reformer with much lower methane content and lower H<sub>2</sub>:CO ratio would be used in the methanol synthesis loop after the heat recovery, and second part of the flow would be directed to the ammonia installation.



Part of the CO<sub>2</sub> would be used to make up the methanol synthesis loop necessary synthesis gas composition. In case of partial oxidation synthesis gas would be divided into two streams (one for methanol, one for ammonia), or two separate reactors would be erected, whatever economically more efficient.

The composition of the process units is given in the Table 2.

Table 2 Combined methanol/ammonia process units

Ammonia process units	Option 3 Ammonia	Methanol process units	Option 1 Methanol
Desulphurisation	x	Desulphurisation	xx
Primary reformer heat exchanger*\	x	Primary reformer heat exchanger *\	xx
Secondary reformer*\	x	Secondary reformer	
HTSH	x	HTSH	
PSA	x	PSA	
CO <sub>2</sub> removal	x	CO <sub>2</sub> removal	xx
Methanation	x	Methanation	
Final purification	x	Final purification	
Compression	x	Compression	x
Ammonia synthesis	x	Methanol synthesis	x
Oxygen/nitrogen cryogenic unit	x	Oxygen/nitrogen unit	xx

\*\ or partial oxidation unit

The accompanying installations:

- cooling water treatment, boiler feed water treatment, ammonia storage, ammonia water storage, cooling tower/cool water installation (if excess of steam is available), polyethylene bags, effluents treatment and offsite installations like mechanical workshop, laboratory, office/social buildings would be included.

#### 2.1.3.2 Nitric acid process - direct catalytical oxidation of ammonia

The production of the electrical energy from the installation would be acknowledged in cost calculation only at the price of 0.016 US\$/kwh. The steam surplus is not needed for other purposes.

The most economic technology should be provided, preferably medium/high pressure process considering the environmental protection requirements.

### 2.1.3.3 Nitrophosphate technology

The improved, up-dated, Odda technology should be proposed. Any alternative producing wide variety of the N:P products would be preferred. The surplus nitrogen should be processed alternatively to the CAN or ammonium nitrate. In case when products require different granulation equipment the split between CAN and AN equal 50:50 should be assumed.

## 2.2 Instructions for the FPMT

### 2.2.1 Raw materials

#### 2.2.1.1 NATURAL GAS

- natural gas (NG) pipe line access point (chart, maps)  
- NG parameters; pressure, available flow Nm<sup>3</sup>/h, maximum, minimum, temperature.

- NG analysis: (percentage by volume or ppm by volume)

- methane
- ethane
- propane{
- butane {
- hexane (normal and isoforms if available)
- nitrogen
- CO<sub>2</sub>
- other inerts (specify)
- oxygen
- water
- total sulphur ppm
- sulphur as H<sub>2</sub>S ppm
- organic sulphur ppm (including COS)
- lower calorific value

If treatment plant is foreseen for purpose of export please give the data for raw gas and purified gas.

#### 2.2.2.2. PHOSPHATE ROCK

- Phosphate rock source: brazilian source, Florida source  
Transportation costs and logistics. Customs. Port charges.  
Reloading storages when necessary. Need for the mine and  
beneficiation expansion. Investment costs and cost sharing.

- Analytical data: % by weight

- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
- CaO
- SiO<sub>2</sub>
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
- MgO
- Na<sub>2</sub>O
- CO<sub>2</sub>
- F
- Cl
- SO<sub>3</sub>
- organic matter
- hardness
- particle size (distribution) mesh
- reactivity

### 2.2.2 Location study

Three locations should be investigated on the natural gas pipeline: Hernandias City, (Alto Paraná), San Lazaro (Alto Paraguay), Villeta (Central).  
The following information should be collected:

- property of the suitable land with the following character: about 16 ha surface, distance to the electrical line and water source not further than 3 km, good road connection to the port, the distance to the nearest municipality houses about 3 km.

The necessary charts and maps should be collected. Preliminary plot plan is attached (Annex III)

- prices for the land to be purchased. Costs of the housing in the area. Prevailing local salaries. Availability of the manpower (preferably with minimum 9 years school education or graduated from professional schools with chemical, mechanical, electrical specialization, total about 300).

- port facilities: unloading capacities (the most heavy weight allowed), presence of warehouses. The prices for river transportation, unloading and storing charges, administrative port charges. The linking road: maximum allowed width and weight to pass. The prevailing prices of the truck transportation; container and bulk material. Any tunnels, bridges and their loads should be given.

- meteorological data: ambient temperature data over the year, maximum and minimum temperature, relative humidity over the year: maximum and minimum, maximum rainfall in mm/hour and mm/24 hours, maximum monthly rainfall, river water temperature: maximum and minimum, barometric pressure, maximum minimum, the height above the sea level of the site, wind prevailing directions and velocity km/hour, maximum and number of windy days, seismic factor.

- soil conditions: type of soil, soil bearing capacity, the subsoil water level (kind of subsoil water; sweet, saline). Preferably the subsoil water level should be -5 m.

- electrical energy: power and voltage available at site (or at the source), frequency; voltage and frequency fluctuations, number of phases, cycles, 3- or 4- wire system.

- water: analysis of the river water in mg/l (normal and variations):

- total hardness CaCO<sub>3</sub>
- P value, CaCO<sub>3</sub>
- M value, CaCO<sub>3</sub>
- Calcium, CaCO<sub>3</sub>
- Magnesium, MgCO<sub>3</sub>
- Sodium, Na
- Iron, Fe
- Chlorides, Cl
- Sulphate, SO<sub>4</sub>
- Si dissolved, SiO<sub>2</sub>
- Total dissolved solids
- Total suspended solids
- pH
- Colour and turbidity (silica scale)

- the agricultural area around the site: arable land % at radius of 100 km, 200km, 300 km. The dominating profile of the agricultural production in the areas: % of three dominating crops.

#### 2.2.2.1 Methodology of the site selection

The linear programming method would be used. The infrastructural investment costs (roads, power lines, water pipes, sewage pipes) depreciation would be compared with the transportation costs of the raw materials and final products to the consumers area.

Other parameters if necessary would be compared by the relative weights assessment method.

#### 2.2.3 Confirmation market study.

The two markets should be investigated: local and export to Brazilian nearest areas (pampas). The following information should be collected (for present and projection by the year 2008):

- population and population growth by the year 2008
- the GDP/capita growth
- the demand for cereals and proteins, total demand for meat and cattle herd necessary. The demand for area at present yields.
- the export options of the crops and/or their processed products (cotton, soya, soya oil, castor oil etc.)
- the total agricultural land, arable land, expected expansions
- the crops profile, crops, area, production (all crops requiring fertilization), historical data from last 5 years.
- historical data on the crops yields (assumed fertilization rate NPK kg/ha) from last 5 years
- commercial agriculture; crops, volume, area. Trends and changes
- sustainable agriculture: crops, volume, area. Trends and changes
- historical data on fertilizer consumption - official and assumed structure N:P205:K20
- historical data on the fertilizer prices (these should be collected at the farm gate: Colonias Unidas, other cooperatives and large scale fertilizer users).
- historical data on the crops prices (these should be collected at the farm gate)
- research proven profile of the fertilization (for each crop)
  - agronomic optimum
  - economic optimum at different cost/benefit ratio

- the fertilizers demand; local and for exports. Growth in years: 1996-2008
- the demand scenario
- the production programme

The basic guidelines concerning the methodological approach are exposed in the IAICA report from 1981 and guidelines attached in Annex IV.

2.3 Preliminary format of the inquiry

**PETROPAR SA,  
MINISTRY OF INDUSTRY AND TRADE  
ASUNCION, PARAGUAY**

**FERTILIZER PLANT**

**REQUEST FOR OFFER**

Asuncion, April 1996

a) Introduction

Republic of Paraguay is a land-locked country of population of 4.5 million and agricultural land of about 22 million ha, from which only 2.3 million ha is arable. The working force is about 43% of population from which 48% is employed in agriculture, 21% in industry and 31% in services. The agriculture and livestock production contributes (1994) to GDP 23.5% and industry, mining and construction only 20.9%. Considering the distribution of working force the labour efficiency is two times higher in the industry than in agriculture, what obviously influence also distribution of incomes.

Formation of the capital achieved in 1993 23% of the GNP, however the majority of the capital has been created in the trade.

Foreign trade balance is chronically negative. During last six year imports have grown from about US \$600 million in 1989 to US \$ 1500 million in 1993. Exports in the same time have decreased from about US \$ 1010 million to US \$ 725 million. The ratio of exports of industrial goods in total export is much lower than industrial contribution to GNP.

At present in the Republic of Paraguay any substantial mineral resources, except limestone, has not been identified.

The transportation system is based on the road and river traffics. Republic of Paraguay has established large scale hydroelectrical power potential. The capacities of energy supplies are used in country in less than 3%, and energy is an important element of the export. The prices of energy are competitive to those in neighbouring countries.

The Republic of Paraguay has joined Latino- American Common Market MERKOSUR. The impact of this decision could not be assessed at present, however it is expected facilitation of exports to this large scale market.

The geographical location and structure of economy have both impact on the potential development of the Paraguayan economy:

- logistic costs are high, therefore opportunity prices to start local production are satisfactory;
- small size of population make difficult to establish economic capacity industrial installations only for local consumption, and again logistic costs induce the export fob prices low;
- large scale agriculture and its low labour efficiency motivate to develop industries branched to the agro-products;
- large surplus of energy makes possible to establish energy intensive industries if the logistic costs of transportation of raw materials and products would be equalized by the lower price of energy;
- formation of capital being adequate to the optional development must find better opportunities in industrial development than in banking and trade.

These features have influenced the Government strategy which has established as objective of the development, the industrialization, modernization aimed at development of the agriculture branched industrial complex (down-stream processing) and energy-intensive industries when feasible.

Industries have to cover domestic demand when feasible in other cases are to be export oriented. Special Industrial Development Fund has been established as well as very motivating investors Investment Law 60/90 has been issued and is in everyday application.

The agriculture is one of important contributors to the national income of the Republic of Paraguay.

The use of fertilizers is one of inputs which influenced growth of yields of crops in range of 25%-45% during last seven years. The fertilization growth denoted is 12.4% p.a. without any significant marketing efforts from the suppliers. In 1994 the average fertilization reported is 12-17 kg NPK /ha of arable land. However, the large scale illegal imports are observed. Advanced cooperatives use about 50 kg/ha of NPK. Projection of the consumption depends very much on the following factors:

- (1) the market for agricultural products ( i.a. demand from MERKOSUR)
- (2) organized promotional and marketing system of fertilizers application
- (3) adequate benefit-cost relation of fertilizers application for the farmer.

The production of food has increased during last 12 years by 4% p.a at the population growth 3.2% p.a.

The projections of the growth of the demand for fertilizers are showing that in 7 years consumption would achieve about 50 kg/ha of NP and at the necessary extended arable land total demand would be between 100,000-150,000 t/year of NP. The potential exports are projected to amount 50,000-75,000 t/year of N.

The potassium is used in very limited amount due to the specific soil properties.

Specific composition of the crops profile requires large proportion of the P205 to be used as well as the soils are humic with extended acidity, requiring large scale lime supply. Therefore, considering the crops profile as well as the environmental aspects the nitrophosphate route to the complex fertilizers has been selected.

## b) Object of the Offer

### - Definitions

- (a) "PURCHASER" shall mean the party establishing the fertilizer plant or his successor or permitted assign.
- (b) "CONTRACTOR" shall mean the party offering the supplies and services to the establishment of the fertilizer plant or his successors or permitted assign.
- (c) Equipment shall mean all the equipment, machinery, instruments, commissioning equipment, spare parts to be supplied by the Contractor.
- (d) Materials shall mean the chemicals, catalysts or other consumable products to be supplied by the Contractor
- (e) Services shall mean all activities included into contract to make possible to construct and operate the plant to be provided by Contractor.
- (f) Fertilizer Plant mean the ammonia, nitric acid, nitrophosphate and ammonium nitrate/calcium ammonium nitrate and methanol installations including the all offsite installations.
- (g) Site shall mean the land upon which fertilizer Plant is to be constructed
- (h) "FOB", "FOR", "CIF" shall have the meaning assigned to them in INCOTERM 1953 and its latest revised version.
- (i) Battery limits are the overall limits including the facilities necessary for the operation of the Fertilizer Plant. The detailed description of the Battery Limits are given in the Annex I.
- (j) Civil works shall mean the construction of buildings, roads, foundations, and land related engineering actions.
- (k) Vendor shall mean the entity from whom the supply of any part of the fertilizer Plant is obtained.



(l) Documentation shall mean all information given in the written, designed or computerized form necessary to construct and operate the Fertilizer Plant. This documentation is composed i.a. from:

- basic engineering defining the process technology and equipment
  - technical documentation defining the modalities of the construction of the plant, including the detailed engineering and basic civil engineering data
  - manuals and guidelines defining the modalities of the plant operation
- (m) Price shall mean the total amount of reimbursement the contractor expects to receive for his supplies and services.
- (n) License shall mean the transfer of the rights to construct, operate the fertilizer Plant and sell the products.

- **Raw materials**

. **NATURAL GAS**

- natural gas (NG) pipe line access point (chart, maps)
- NG parameters; pressure, available flow Nm<sup>3</sup>/h, maximum, minimum, temperature.
- NG analysis: (percentage by volume or ppm by volume)
  - methane
  - ethane
  - propane(
  - butane (
  - hexane (normal and isoforms if available)
  - nitrogen
  - CO<sub>2</sub>
  - other inerts (specify)
  - oxygen
  - water
  - total sulphur ppm
  - sulphur as H<sub>2</sub>S ppm
  - organic sulphur ppm (including COS)
  - lower calorific value

If treatment plant is foreseen for purpose of export please give the data for raw gas and purified gas.

. **PHOSPHATE ROCK**

- Phosphate rock source: brazilian source, Florida source  
Transportation costs and logistics. Customs. Port charges. Reloading storages when necessary. Need for the mine and beneficiation expansion. Investment costs and cost sharing.
- Analytical data: % by weight
  - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
  - CaO
  - SiO<sub>2</sub>
  - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
  - MgO
  - Na<sub>2</sub>O
  - CO<sub>2</sub>
  - F
  - Cl
  - SO<sub>3</sub>

- organic matter
- hardness
- particle size (distribution) mesh
- reactivity

- **Location and site**

Three locations should be investigated on the natural gas pipeline: Hernandias City, (Alto Parana), San Lazaro (Alto Paraguay), Villeta (Central).

The following information should be collected:

. **Land available**

- property of the suitable land with the following character: about 16 ha surface, distance to the electrical line and water source not further than 3 km, good road connection to the port, the distance to the nearest municipality houses about 3 km. The necessary charts and maps should be collected.

. **Transportation limitations**

- port facilities: unloading capacities (the most heavy weight allowed), presence of warehouses. The prices for river transportation, unloading and storing charges, administrative port charges. The linking road: maximum allowed width and weight to pass. The prevailing prices of the truck transportation; container and bulk material. Any tunnels, bridges and their loads should be given.

. **Meteorological data**

- meteorological data: ambient temperature data over the year, maximum and minimum temperature, relative humidity over the year: maximum and minimum, maximum rainfall in mm/hour and mm/24 hours, maximum monthly rainfall, river water temperature: maximum and minimum, barometric pressure, maximum minimum, the height above the sea level of the site, wind prevailing directions and velocity km/hour, maximum and number of windy days, seismic factor.

. **Soils and seismic conditions**

- soil conditions: type of soil, soil bearing capacity, the subsoil water level (kind of subsoil water; sweet, saline). Preferably the subsoil water level should be -5 m.

. **Electric power**

- electrical energy: power and voltage available at site (or at the source), frequency; voltage and frequency fluctuations, number of phases, cycles, 3- or 4- wire system.

. **Water**

- water: analysis of the river water in mg/l (normal and variations):

total hardness CaCO<sub>3</sub>  
 P value, CaCO<sub>3</sub>  
 M value, CaCO<sub>3</sub>  
 Calcium, CaCO<sub>3</sub>  
 Magnesium, MgCO<sub>3</sub>  
 Sodium, Na  
 Iron, Fe  
 Chlorides, Cl  
 Sulphate, SO<sub>4</sub>  
 Si dissolved, SiO<sub>2</sub>  
 Total dissolved solids  
 Total suspended solids  
 pH  
 Colour and turbidity (silica scale)

Supply area

- the agricultural area around the site: arable land % at radius of 100 km, 200km, 300 km. The dominating profile of the agricultural production in the areas: % of three dominating crops.

Preliminary plot plan (Annex III)

List of prices

To facilitate the Contractor of the selection of the optimal structure of technological units the basic data for prices are given in the Table 3.

Table 3 Prices of raw materials and utilities

Raw materials/utilities	Unit	Price US \$/unit (cif plant gate)
Natural gas	1000 Nm <sup>3</sup>	110
Phosphate rock (33% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	t	45
Electrical power	Mwh	16
Raw water 26 oC	1000 m <sup>3</sup>	3

c) Scope of the offer

- Modalities of an offer presentation

The fertilizer plant would be constructed on the basis of the semi-turnkey contract:

The Contractor would provide all equipment and machinery accordingly to the specified below request as well as would be responsible for fertilizer project management. The Purchaser would provide the execution of civil works and would be responsible for supplies of the construction materials (except steel structures, foundation bolts etc.). Purchaser would provide the local management team and personnel for plant operation. Purchaser would be responsible to provide water, natural gas and electric power to the battery limits of fertilizer plant.

The Contractor should select the technical alternative which fits his technological process features and gained experience. The offer should be presented in a manner allowing to start immediately contractual negotiations. The reimbursement for the offer preparation would not be provided by the Purchaser. The offer may be prepared in English, however offer prepared in Spanish would be highly appreciated. The offer should be related to the battery limits of the Fertilizer Plant. The following installations are included into battery limits of the Contractor deliveries:

Area 1100	Water treatment installations
Area 1400	Cooling towers
Area 1200	Ammonia storage
Area 1300	Methanol storage
Area 1500	Power house
Area 1600	Water cooling, boilers including start up-boiler
Area 100	Synthesis gas
Area 200	Ammonia
Area 300	Methanol
Area 400	Nitric acid
Area 500	Polyethylene bags
Area 600	CAN/nitrophosphate installations
Area 1700	Mechanical workshop
Area 1800	Storage expedition
Area 1900	Interconnecting piping, cabling
Area 1910	- cooling water system
Area 1920	- demineralized water system
Area 1930	- fire alarm and fire fighting system
Area 1940	- compressed air system
Area 1950	- natural gas supply and distribution system
Area 1960	- inert gas system
Area 1970	- effluent collection and abatement system
Area 1980	- electric power distribution system, lighting system, earthing system, emergency power generation
Area 2000	- administration, social buildings, warehouse for spare parts, chemicals, laboratory

- **Products**

In the offer the quality parameters important for the consumer as well as for the producer for the following products should be given:

- ammonia
- nitric acid
- nitrophosphate 22:22 and other compositions
- CAN
- ammonium nitrate

- **Technology and process**

The scope of the work during the fertilizer project implementation of the Contractor in the technology and process is as follows:

- license to construct, operate and sell the product in Latin America
- basic engineering
- operation manuals
- maintenance manuals
- detailed engineering
- civil works engineering

In the offer the following information should be included:

- a) technological flowsheets with short process description including critical parameters
- b) basic material balance (Sankey diagram)
- c) basic energy balance (Sankey diagram)
- d) technological profiles of all processes involved accordingly to the attached format
- e) process references

- **Equipment**

The scope of the work during the fertilizer project implementation of the Contractor in the equipment delivery in the framework of battery limits is as follows:

- preparation of the purchasing documentation
- selection of vendors
- inspection of equipment during fabrication, on completion, and after packing providing certificates of inspection
- providing the test certificates for equipment wherever laid down under laws of the country of fabrication and laws of Purchaser country
- providing fob complete set of the packed equipment in seaworthy/roadworthy packing, marked to sea port from which direct transportation to the Paraguay is possible
- providing complete set of piping and valving packed in seaworthy/roadworthy packing, marked to sea port from which direct transportation to the Paraguay is possible
- providing complete set fob of electrical equipment packed in seaworthy/roadworthy packing, marked to sea port from which direct transportation to the Paraguay is possible
- providing complete set fob of instrumentation and communication equipment packed in seaworthy/roadworthy packing, marked to sea port from which direct transportation to the Paraguay is possible
- providing complete set fob of laboratory and testing equipment packed in seaworthy/roadworthy packing, specifically marked to sea port from which direct transportation to the Paraguay is possible - providing complete set fob of safety equipment packed in seaworthy/roadworthy packing, specifically marked to sea port from which direct transportation to the Paraguay is possible
- providing the complete set fob of the maintenance workshop equipment packed in seaworthy/roadworthy packing, specifically marked to sea port from which direct transportation to the Paraguay is possible
- providing the spare parts fob for two years of operation packed in seaworthy/roadworthy packing, specifically marked to sea port from which direct transportation to the Paraguay is possible
- providing the detailed mechanical design of equipment necessary to erect, operate and maintain
- providing the insurance to the sea port and for its storage and loading there

In the offer the following information should be provided:

- a) list of the equipment accordingly to the following format:

Item	Number on the flowsheet	Name	Basic sizes	Material	Weight	Vendor (s)
------	-------------------------	------	-------------	----------	--------	------------

Into the list all equipment should be included accordingly to the following criteria:

- all critical equipment items (reactors, steam vessels, compressors and other machines)
- all storage tanks with volume x pressure more than 3 [m3xata]
- all heat exchangers with exchange surface higher than 20 m2
- all columns with diameter over 500mm or height over 3m.
- all pumps with the motor capacity over 3 kW

The remaining equipment should be listed by names e.g small storage tanks (23), small pumps (17), small heat exchangers (11) etc.

The list of the equipment should be prepared for each installation separately.

- b) list of mechanical workshop equipment
- c) special requests for the land transportation (oversize and weight)
- d) spare parts evaluation for two years of normal operation

- Catalysts and chemicals

The scope of the work during the fertilizer project implementation of the Contractor in the catalysts and materials supply in the framework of battery limits is as follows:

- a) all catalysts for minimum 3 years of plant operation
- b) all materials, chemicals necessary to 3 months start-up the operation and operate the plant during the 3 months period.

In the offer the following information should be provided:

- a) list of the catalysts accordingly to the following format:

Catalyst task	Trade mark	Bulk density	Expected life	Quantity (charge) t
---------------	------------	--------------	---------------	---------------------

- b) list of the materials accordingly to the following format:

Material name	Material task	Quantity (for 6 months start-up and operation)
---------------	---------------	--

- Services

The scope of the work of during the fertilizer project implementation the Contractor in services in the framework of the battery limits is as follows:

- a) receipt and inspection of equipment and materials at Fertilizer Plant site and making claims for insurance or suppliers for short supply or damages, if required.
- b) technical supervision of erection in all branches of construction
- c) adjustment of the technical documentation in case of errors or inadequate presentation
- d) supervision of the mechanical testing of installations after completion of erection
- e) supervision of the technological start-up and guarantee test operation
- f) training staff and operational and maintenance personnel abroad and on site. The following training in operational plants should be provided:

- chief production manager                      6 m/m
- chief maintenance engineer                    6 m/m

- technologists (4) 6 m/m
- electrical engineers (2) 6 m/m
- instrumentation engineers (2) 6 m/m
- maintenance engineers (4) 6 m/m

The following training on site should be provided:

- shift masters (16) 3 m/m
- maintenance shift masters (16) 3 m/m
- other (20) 3 m/m

g) providing managerial assistance until final acceptance of the Fertilizer Plant 12 m/m

The all services should be assumed for three years of construction period.

In the offer the following information should be provided:

Activity/task	Qualifications	Duration in m/m
---------------	----------------	-----------------

- Standards and codes

It should be considered that the following standards and codes (or equivalent in parameters other standards) should be applied:

- Steel structures BS 449
  - Steel chimneys BS 4076
  - Steam boilers ASME code, section I
  - Tubular exchangers ASME code, section VII, TEMA code
  - Refractory and insulation ASTM
  - Centrifugal pumps API 610
  - Reciprocating compressors API 618
  - Steam turbines API 611, 612/615
  - Centrifugal compressors API 614,617
  - Pressure vessels ASME code section VIII
  - Refrigerated tanks API 620
  - Atmospheric pressure tanks API 650
  - Piping systems ANSI B 31.3, B 16.5
  - Electrical code BS CP 321,326, 1003 (for tropical usage class E insulation)
  - Instrumentation ISA standards, electrical, digital system
  - Hazards area classification API
- The detailed list of standards and codes would be agreed upon during the contractual negotiations.

- Time schedule

For purpose of price/cost evaluation the following time schedule should be considered:

Target tasks	to be completed by
Offer submission	September 15 1996
Feasibility study and financial arrangements	April 1997
Contract negotiations	March 1997
Contract signature	May 1997

Construction start-up	May 1998
Construction completion	May 2001

- Environmental requirements

The following limits of the concentration of chemicals in the effluents should be considered when designing the pollution prevention equipment:

Ammonia plant:

Ammonia losses - <0.15 kg/t  
 Concentration in gaseous effluents: <15 ppm  
 Concentration in liquid effluents: <50 ppm

Nitric acid plant:

NOx in effluent gases: <200 ppm

Nitrophosphate/CAN plant;

Parameter	Liquid effluent	Gaseous vents
Nitrogen losses (N)	5 kg/t P205	1.5 kg/t P205
Phosphorus losses (P)	0.06 kg/t P205	-

Concentrations in effluents:

Pollutant	Liquid effluents	Gaseous vents
Dust	-	<100 ppm
NH3 (N)	<100 ppm	<150 ppm
NOx (N)	<200 ppm	<150 ppm
F	< 50 ppm	< 25 ppm

- Price

The price of offered deliveries and services should be given in the following format:

Deliveries

Cost element	US \$ f.b seaworthy packing
Steel structures, foundations bolts etc.	
Equipment, machinery	
Piping, valving	
Electrical equipment, cables	
Instrumentation	
Catalysts for 3 years operation	
Testing laboratory equipment	
Materials, chemicals for 1/2 year of operation	
Maintenance shop equipment *\	

\*\ this would be the only source of maintenance services for the Fertilizer Project.



Services

Know-how and services	US \$
License fees	
Basic engineering	
Detailed engineering	
Civil engineering	
Guidelines and manuals including pressure vessels documentation	
Services related to the purchases of equipment	
Project management fee	
Training fee	
Design services on site *\	
Other services *\	

\*\ manmonth cost in the field.

- Suppliers credit options for equipment and services

The statement of the potential suppliers credit and its conditions:  
 Ratio of the credited supplies and services to the total contract value (e.g. 80%)  
 Expected rate of interest (over the Libor)  
 Reimbursement schedule  
 Other advantageous conditions  
 Required guarantees

- References

The summary of experience. The reference fertilizer plants operational, under construction. The last 5 years experience is crucial in the field of modernized technologies, environmentally safe and energy efficient.

- Selection of contractor: criteria

The 3-4 contractors are asked to participate in bidding after preliminary assessment of the process advantages/disadvantages. The offers would be assessed and compared by special team composed from the representatives of the project management team, PTEROPAR representatives as well as the Ministry of Trade and Commerce representative. The financial sheets would be prepared and compared as a leading selection consideration. In case when financial sheets for two or more companies would show comparable results then additional parameters would be introduced into selection criteria.

Those are as follows:

Parameter	Value	Evaluation points
Contractor's potential	Annual turnover	30
Contractor's experience	Number of fertilizer plants constructed	15

Credit facilities	Supplier's credit value	20
Joint-venture proposal	Participation in equity	50
N:P elasticity	Range of ratio of N:P	30
Minimum N, P losses	Total yield %	20
Minimum total energy input	Total energy consumption	15
Maximum ratio of electrical power to fuel origin power consumption	%	15

#### 2.4. Training programme for FPMT (Period - April 1996)

##### 2.4.1 Review of the technological options

Purpose: To introduce FPMT fertilizer technology  
 Time schedule: Two days (16 hours)  
 Number of participants: 5-12  
 Themes: Available technological options in fertilizer production adequate to the consumption profile in Paraguay would be discussed.  
 Source of information: The basic information to be discussed is given in the Annex V. (Spanish version)

##### 2.4.2 Review of demand assessment

Purpose: To check results of the market team of FPMT estimates  
 Time schedule: Two days (16 hours)  
 Number of participants: 4-6  
 Themes: Methodology of the fertilizer demand assessment  
 Source of information: UNIDO methodology (AnnexIV) and JAICA report 1989

##### 2.4.3 Review of the locational study

Purpose: To check the results of the site/location team of FPMT  
 Time schedule: One day (8 hours)  
 Number of participants: 4-6  
 Theme: Location selection methodology  
 Source of information: Location selection methodology as presented in UNIDO manual

##### 2.4.4 Review of the raw materials quality and availability

Purpose: To check the results of the raw materials team of FPMT  
 Time schedule: One day (8 hours)  
 Number of participants: 3-5  
 Theme: Raw materials quality and availability  
 Source of information: Inquiry format

##### 2.4.5 Review of the inquiry

Purpose: To finalize the inquiry  
 Theme: The inquiry format

Number of participants: 8-12

Time schedule: 3-5 days (40 hours)

Source of information: Draft inquiry and UNIDO contract of the semi-  
turn key fertilizer plant.

Annex I

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION

Job description

UC/PAR/94/087/11-56 1m/m

SF/PAR/96/001/11-51 1m/m

**Title:** Fertilizer expert

**Duration:** Initial fielding 1 month against UC/PAR/94/087  
Second fielding 1 month against the then approved SF/PAR/96/001

**Date required:** March 1996, first fielding April 1996 second fielding

**Duty station:** Vienna Asuncion

**Purpose of project:** To carry out professional advisory services in assisting the Ministry of Industry and Commerce during the pre-investment stage, leading to the establishment of the fertilizer plant in Paraguay.

**Duties:** The consultant in close cooperation with other national and international staff will be expected to:

**Month 1:**

- prepare guidelines for bidding process as well as guidelines and questionnaires for the assessment of the demand of fertilizers
- prepare training materials and technical questionnaires in preparation for training activities to start with staff of FPMT

**Month 2:**

- advise the counterpart in the application of materials/formats designed and participate in this "on the job" training activities
- prepare a report on the findings of the mission

**Language:** English

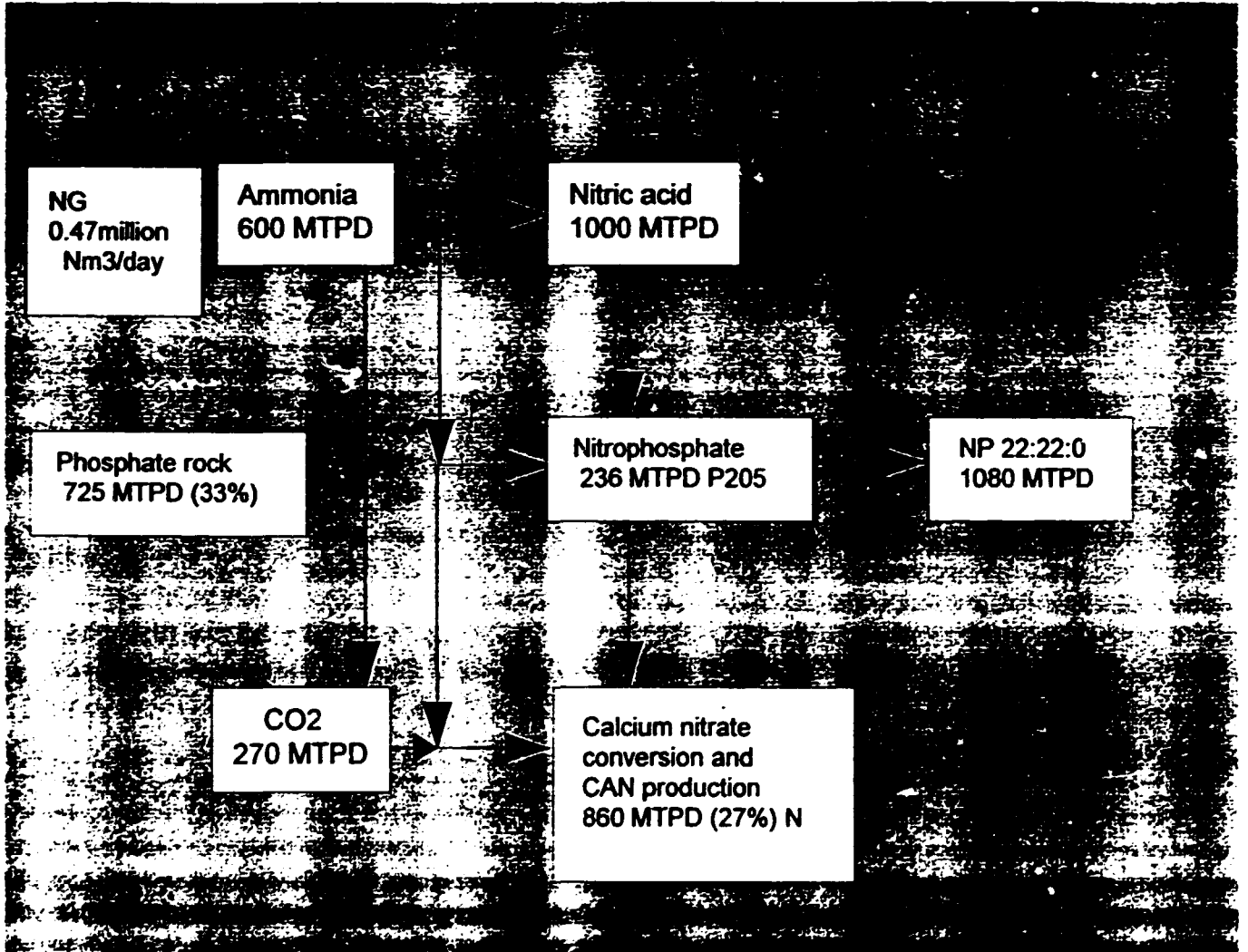
**Qualifications:** Industrial engineer with advanced degree in chemical engineering as well as long term experience in industrial project evaluation and selection

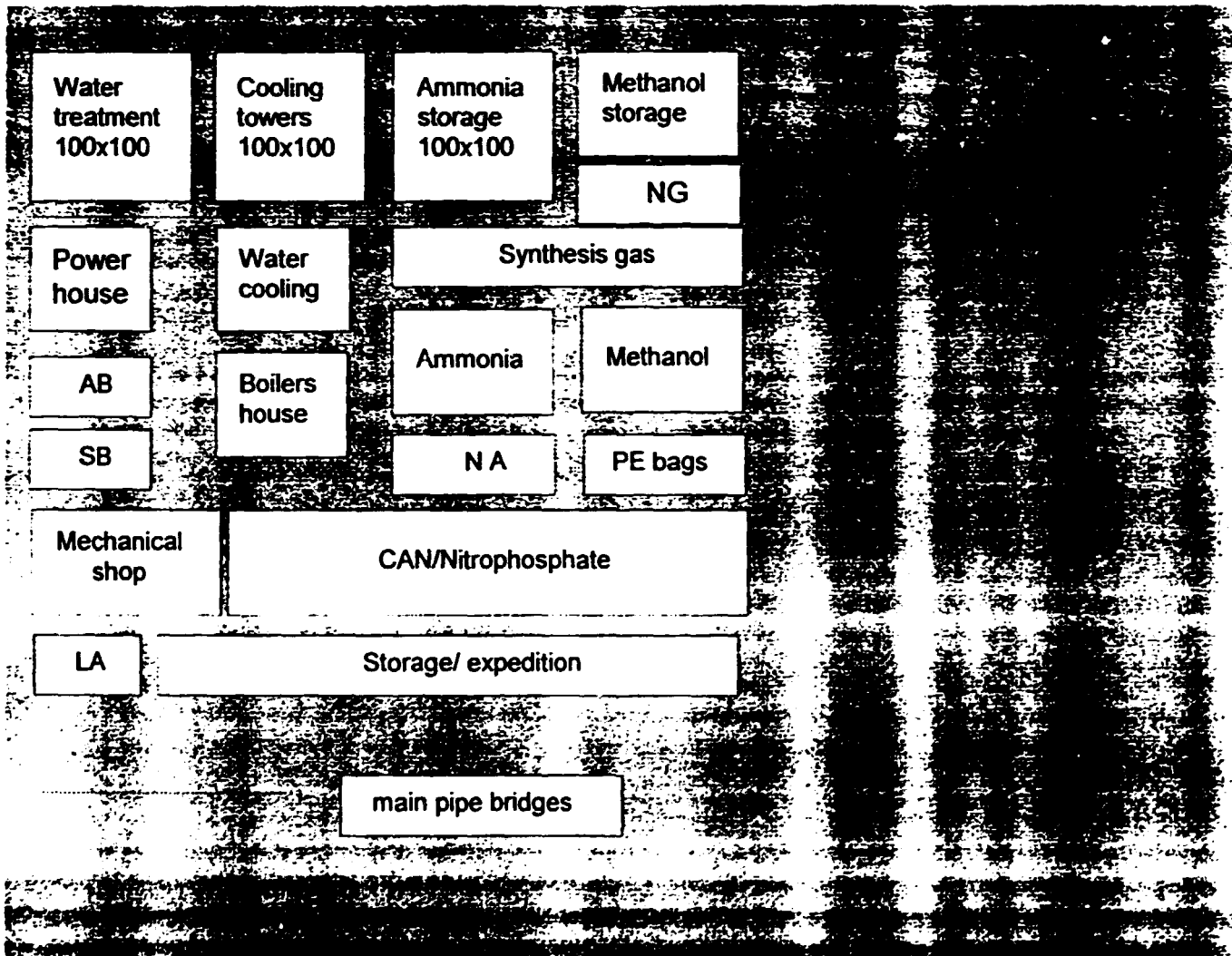
**Background information:** See project document.

**ANNEX II**

**STRUCTURES OF THE FERTILIZER PLANT  
IN PARAGUAY**

**INQUIRY PROPOSAL.**

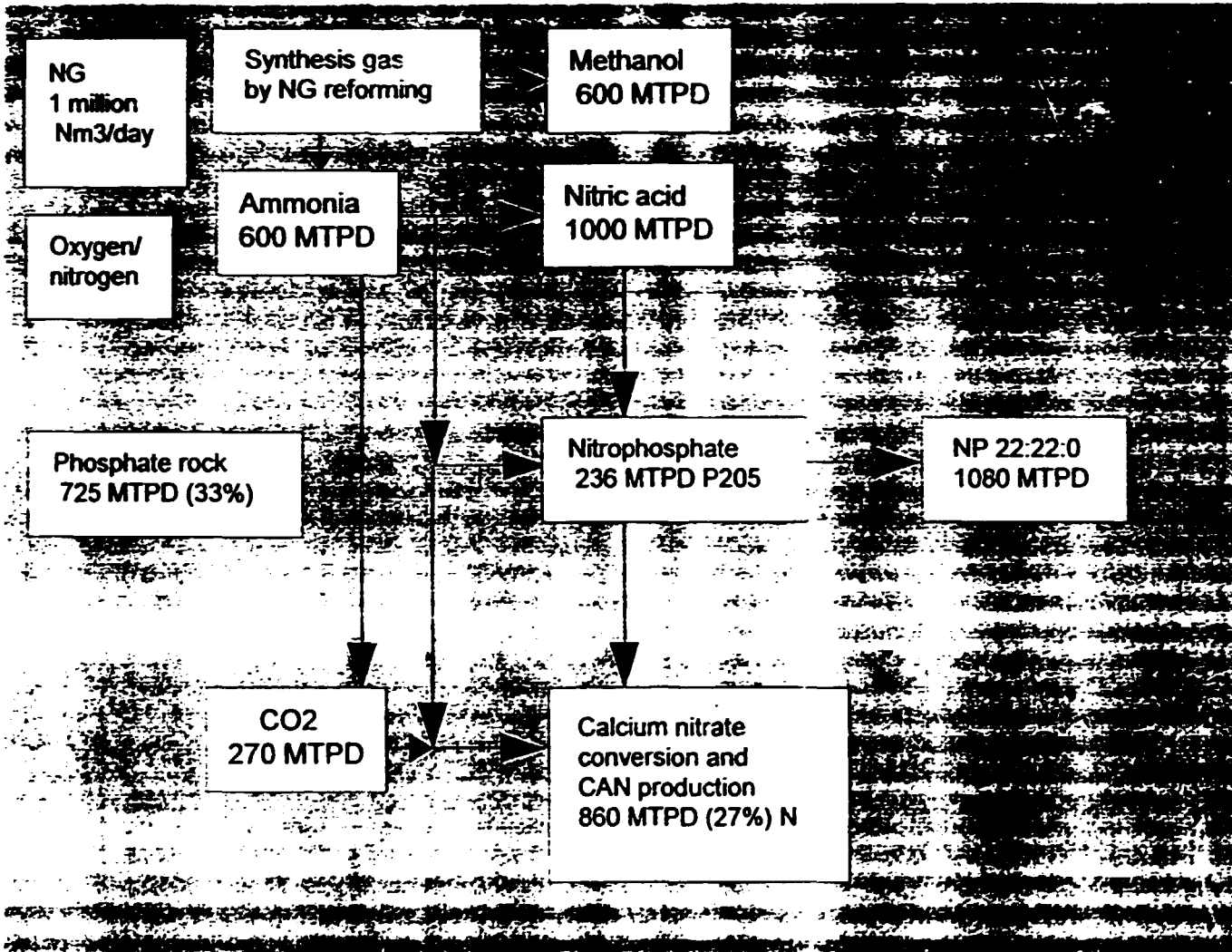




**ANNEX III**

**PLOT PLAN OF THE FERTILIZER PLANT IN PARAGUAY  
INQUIRY PROPOSAL**





ANNEX IV

- 4.1 -

Metodologías de estimación de la demanda de fertilizantes

Ha sido comprobado en múltiples estudios que el crecimiento de un 40% de las cosechas depende de la aplicación de fertilizantes adecuadamente seleccionados, aplicados a tiempo y en las mejores condiciones climáticas disponibles. Eso significa que las semillas y los esquejes deben ser adecuadamente seleccionados, las plantas recibir la cantidad apropiada de agua durante el periodo del crecimiento. Deben aplicarse productos de protección de plantas así como asegurar la recolección de la cosecha sin pérdidas innecesarias. Sólo entonces podremos observar los positivos resultados del uso de los fertilizantes, sin influencia negativa en el medio ambiente.

No existe una metodología unificada de la estimación de demanda por fertilizantes. De hecho cada vez que se estima la demanda en un país tiene que ser preparado un estudio básico que considere todos los aspectos del funcionamiento del complejo agro-industrial. Aunque los tratamientos metodológicos están limitados, más adelante presentaremos ejemplos desde el punto de vista de los objetivos y el tiempo de duración de los esquemas:

(a) La demanda/producción y planes a corto plazo actuales en todo el mundo de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la ONUDI y del Banco Mundial;

(b) Estimación regional de la demanda en Asia Sudeste, propuesta por el Centro Oeste-Este, Honolulu, Islas Hawaii;

(c) El plan de desarrollo del complejo agro-industrial del país, creado por la FAO

(d) FERTIS: el sistema de la ONUDI de desarrollo de la industria de fertilizantes como parte del complejo agro-industrial.

1. Las "Mundiales y regionales balanzas de suministro y demanda de nitrógeno, fósforo y potasio" de la FAO, la ONUDI y el Banco Mundial.

El Grupo de Trabajo de la FAO, la ONUDI y del Banco Mundial incluye un número de especialistas con experiencia en los análisis de las tendencias en la producción y consumo de los principales nutritivos fertilizantes y materias primas fertilizantes. Otros miembros del Grupo representan las mayores asociaciones industriales de las industrias relacionadas con la producción de nitrógeno, potasio, fósforo y azufre.

Los intereses del sector técnico, de producción, comercialización y agrícolas, también tienen su representación en el Grupo.

Las previsiones de la demanda constituyen como resultado del consenso, en el Grupo y toman en consideración una variedad de metodologías, incluidos los análisis de las tendencias, investigación del mercado, programas agrarios y en el caso de algunos países grandes, modelamiento económico.

Las previsiones de demanda del Grupo están basadas en los siguientes elementos:

- previsiones de crecimiento económico global;
- determinadas medidas de influencia (por ejemplo medidas de protección del ambiente);
- balanza de las reservas agrarias y su reducción en los países desarrollados;
- capacidad del intercambio exterior de los países en vías de desarrollo;
- la transición a la economía de mercado en Europa Central y del Este

y otras medidas en los países en vías de desarrollo:

- pérdida de capacidades por varias razones;
- precios de materias primas (gas natural, crudo) y su influencia en el índice de beneficio/coste del uso de fertilizantes.

2. El Centro Este-Oeste (CEO): "Basado en las Necesidades" Previsión de la Demanda a Largo Plazo Basada en las Consideraciones Agroeconómicas.

Los que toman decisiones en cuanto a la predestinación de los limitados fondos para la producción de los abonos artificiales o para otras inversiones nacionales, deben conocer las previsiones a largo plazo sobre la necesidad de fertilizantes. Sin embargo, los modelos de pronósticos de la demanda que se basan en los análisis de la tendencia y que son eficaces para las previsiones a corto plazo, pueden ser inadecuados para solucionar problemas a largo plazo. Por esta razón se necesitan métodos alternativos. Ya que los pronósticos son inadecuados, hay que tener en cuenta, que las decisiones en cuanto a las inversiones deben ser apoyadas por otras opiniones que confirmen las decisiones correctas.

A continuación se presenta el resumen de los métodos de EWC utilizados para pronosticar la demanda de fertilizantes a largo plazo que estriban en consideraciones agrarias. Este modelo fue comprobado en los países asiáticos.

MODELO

En el modelo se usa las siguientes relaciones:

$$\text{NPK (D)} = \frac{\text{APD} - \text{APRF}}{\text{CR}}$$

Donde:

NPK (D) - significa la pronosticada demanda total de fertilizantes expresada en millones de toneladas métricas.

APD - significa la producción agrícola total requerida expresada en millones de toneladas métricas.

APRF - significa la producción agrícola en las tierras que no necesitan ser abonadas, expresada en millones de toneladas métricas.

CR - significa el índice promedio nacional de la influencia del uso de fertilizantes en la producción agrícola.

A0

a) La producción agrícola total requerida (APD) es similar a las indicadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), calorías por persona para prever las imprescindibles cosechas de cereales. Se propone también el uso del APC - la producción de cereales per cápita para prever la producción total. Es un típico índice nacional que señala el consumo de los productos vegetales por persona.

A consecuencia de las diferencias entre las cosechas de cereales, no se debe comparar el APC de un país con el de otros países. Mediante la multiplicación del APC por el índice del crecimiento de la población, podemos estimar la cantidad requerida de cereales en cierto país para determinado año.

En la prueba del modelo para el año 1990 las proyecciones y la realidad eran comparables. El valor del APC a largo plazo se mantiene estable sólo en Asia. La estabilidad del índice APC puede ser explicada de dos modos: un crecimiento rápido de la población imposibilita el aumento del consumo de los cereales y/o el patrón de consumo no cambia mientras más comestibles se encuentren al alcance del consumidor.

b) Producción agrícola de tierras sin necesidad de abonarlas (APRF). Este índice teórico fue aplicado en el modelo. El rendimiento promedio por hectárea de ese suelo en cada país, hace varios años, cuando no se usaban los abonos artificiales, fue aproximadamente igual al rendimiento total. Sin embargo, a causa de cambios en las formas de selección del grano, la introducción de técnicas nuevas etc., el APRF ha cambiado. Por eso, para las estimaciones el APRF actual, el rendimiento promedio por hectárea está disminuyendo con el índice promedio de la fertilización por hectárea durante un cierto período de tiempo (en el examen del modelo fue aplicado el período 1965-1990). El rendimiento teórico con el NPK de valor 0 estima el valor pasado de APRC (mediante extrapolación). Junto al mejoramiento del APRC, será posible perfeccionar las técnicas de la administración de cosecha en el futuro. Apartando el APRC de la producción requerida total, puede estimarse la diferencia cuantitativa de la producción agraria que requiere del uso complementario de fertilizantes.

c) Índices de la cosecha al uso de fertilizantes (CR).

Los análisis regresivos de las relaciones entre los resultados y la fertilización dan la posibilidad de establecer una función entre el CR y la intensidad de la fertilización. La inclinación de la curva de la regresión es el CR para cierta intensidad de fertilización que surge de la fórmula de la disminución de la reacción de la producción agraria a la cantidad de fertilizantes. No obstante, de que es un parámetro específico para cada país, dependiente del tipo de suelo y condiciones climáticas. La magnitud de dicho parámetro puede determinar también los éxitos en los índices de la cosecha.

d) Prevista demanda total de fertilizantes NPK (D)

El NPK (D) se obtiene dividiendo el área de la producción agrícola destinada a fertilizar, por el índice de la reacción de la producción agrícola al uso de fertilizantes (CR).

### 3. Metodología de pronósticos utilizada en la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Después de la conferencia de la FAO que tuvo lugar en el año 1987, fue preparado y publicado el documento: "Agriculture towards 2000". Los documentos nacionales preparados en 1988 por la Unidad de Estudios sobre Perspectivas Globales (ESDG) describen datos históricos, suministran pronósticos de producción de varios cereales y de producción animal, describen índices económicos de agricultura local del año 1988 así como del período 1990-2000. Uno de los elementos pronosticados es el consumo de fertilizantes. La metodología detallada en la preparación de resúmenes nacionales está descrita en un libro publicado el cual resume los resultados de la antes citada conferencia. Más adelante se presenta un breve resumen de la metodología.

En la preparación de resúmenes nacionales se utilizan datos estadísticos estandarizados procedentes de la base de datos de la FAO - AGROSTAT. Las previsiones preparadas durante el período mayo'86-abril'87 están basadas en los datos promedios del período 1982-1984, y para preparar otras fueron utilizados datos del año 1986.

La metodología en general está basada en el método del guión. Para cada país fueron preparados tres guiones (pesimístico, optimístico y central). Las previsiones de la producción fueron preparadas en forma de estimación de las inversiones netas y brutas acumuladas durante el período del pronóstico, a fin de facilitar la estimación de las proporciones macroeconómicas.

El valor bruto de los cereales fue acumulado y analizado. El incremento de la producción de los cereales está estimado en forma de descripción de las fuentes de su incremento tales como el rendimiento por hectárea, aumento del área de cultivo y la densidad de la siembra de cereales. Esto forma un pronóstico de la producción de cereales y del rendimiento por hectárea.

Las previsiones de la tasa de crecimiento de las contribuciones se prepara a base del método del guión con la dinámica del crecimiento más probable seleccionada. El incremento de la fertilización y su eficiencia, con la intensidad de la fertilización dada, puede ser analizado si se compara la influencia de los fertilizantes en el aumento de cultivos (de cereales definidos).

4. FERTIS: el sistema de la ONUDI relacionado con el desarrollo de la industria de fertilizantes como parte del complejo agro-industrial.

El programa FERTIS fue creado por la ONUDI en los años 1990-92 en el marco de la Década de Desarrollo Industrial para Africa (IDDA), programa de la Organización de las Naciones Unidas de Reconstrucción y Desarrollo de Africa y el Programa Africano de Prioridades de Recuperación Económica (APPER). En un principio el programa fue orientado a países africanos; pero ha desarrollado instrumentos que pueden ser utilizados también en otros países. El programa FERTIS ha juntado la evaluación analítica de los recursos, elementos de la infraestructura, elementos de la tecnología, la parte de la producción/demanda, estrategias del gobierno y la definición de la política de incremento de la explotación de fertilizantes y su eficiencia. El método ha posibilitado la creación de modelos de consumo y producción de abonos.

Los pronósticos utilizan parámetros económicos para evaluar la demanda potencial y definen la política local indispensable para convertir la demanda potencial en consumo real. La estimación de la demanda puede ser integral para todos los tipos de cereales, pero también puede ser orientada a cosechas dominantes en el país.

Desde el punto de vista del agricultor, la eficiencia de los fertilizantes es determinada por dos factores:

- (a) reacción de la cosecha a una fertilización incrementada
- (b) índice de la relación del precio a la contribución

La evaluación de ambos elementos crea un índice de beneficio/coste, el cual puede motivar al agricultor a usar fertilizantes. En la FAO se utilizan tres parámetros para definir el índice de beneficio/coste:

- tasa marginal de restitución (MRR)
- índice de valor/coste (VCR)
- índice de abono/cosecha

En el programa FERTIS se usa un parámetro VCR corregido:

$$\text{VCR} = \frac{\text{Valor del incremento de la cosecha} * r - \text{Coste de abono}}{\text{Coste de fertilizante aplicado}}$$

donde: r = multiplicador del incremento de la cosecha gracias a la aplicación del abono (40%-60%).

En la planificación a largo plazo del desarrollo de la consumo/producción, un método unificado y precios estimados deberían ser usados para la reacción de la cosecha.

A finales de los años setenta y a principios de los ochenta, durante la ejecución del Programa de Fertilización de la FAO, fue elaborada una revisión de las cosechas. La función parabólica es bien conocida en el ejemplo de la relación en la reacción de las cosechas. Esta función demuestra una saturación si con un nivel determinado de fertilización, el marginal incremento de la cosecha representa valor 0. Este punto es considerado un óptimo agronómico. Sin embargo la relación directa entre la cosecha en kilogramos/hectárea (o en unidades monetarias/hectárea) y la intensidad de la fertilización en kilogramos de NPK/hectárea demuestra algunas diferencias en varios países, por ejemplo la estimación no es satisfactoria. Esto es evidente, porque la reacción de la cosecha depende mucho de las condiciones climáticas, calidad del suelo, variedad de la recolección (la reacción de cereales de alta cosecha es diferente de la de otros cereales), y los mismos cereales representan especies diferentes, de diferente reacción. También los métodos de cultivo son otros en cada país.

Estas diferencias en muchos casos desaparecen si una correcta proporción del N:P:K es aplicada. En muchos países los Servicios de Extensión durante años de práctica han descubierto las proporciones recomendadas y los dosis de nutrientes para diferentes cosechas, así como para diferentes regiones y países.

Durante la implementación del sistema FERTIS ha sido demostrado que se puede obtener una mejor correlación si se consideran cosechas procedentes de áreas de cultivo y si la función reactiva está creada a base de datos publicados o comprobados. También esta función tiene un carácter parabólico, sin embargo los resultados obtenidos están relacionados con específicas condiciones climáticas y agrarias.

Esta función demuestra que la "falta fertilización" de un suelo determinado, bajo específicas condiciones climáticas y un determinado método de cultivo puede obtenerse un cierto nivel de productividad del suelo. Esta idea es similar a la utilizada por EWC en sus métodos de producción. El óptimo agronómico se obtiene en un máximo nivel. Este nivel de productividad así como su función son expresados en porcentajes: la utilización de fertilizantes como porcentaje del índice de fertilización (entre 0 y el óptimo agronómico) y el incremento del rendimiento relacionado con el óptimo agronómico y el de la "falta de fertilización".

La función presentada debajo ha sido preparada a base de datos procedentes del Programa de Fertilización de la FAO. En cada país los Servicios de Extensión han creado su propia función relacionada con ciertas cosechas y la utilizan para hacer una estimación de la demanda.

El nivel económico de fertilización depende del valor del VCR". La calculación del VCR" previsto no significa que la aplicación de fertilizantes es indispensable. Por esta razón se propone utilizar el valor del índice CVR" (o de otros índices) para crear medidas de política del gobierno, necesarias para motivar al agricultor a utilizar fertilizantes.

El valor del CVR" depende de la estrategia del gobierno. Varios ejemplos de estrategias y valores del VCR" se presenta a continuación:



Tabla 1 Parámetros estratégicos de autosuficiencia de los alimentos

Estrategia del país	Valores de VCR"
Máxima independencia de los alimentos	3.0 - 4.0
Producción alimentaria económicamente eficiente	2.0 - 2.5
Liquidación del exceso de los alimentos	1.2 - 1.5

Es de esperarse que con el valor del CVR" igual a 4, todas las tierras que necesitan ser fertilizadas son cultivadas, si no se toma en consideración otras condiciones (acceso a la mano de obra, al agua, sistema de almacenaje y transporte). En otro caso, con el nivel del valor del CVR", los agricultores podrían limitar la aplicación de fertilizantes o dejar de abonar el suelo.

Esto sería imposible de prever si no fuera gracias al análisis econométrico así sabremos cual VCR" elegir en los marcos de cierta estrategia que el gobierno habrá de experimentar. Sin embargo el resultado de estos experimentos puede ser un desplazamiento de ingresos de otros sectores de la economía a la agricultura.

Está claro que el valor del VCR" puede ser regulado o por el establecimiento de precios locales de las cosechas (creando barreras arancelarias en la importación si los productos nacionales son más baratos o estableciendo un sistema complicado de subsidios) o por subsidios de abonos. Estos problemas serán presentados más adelante.

Debajo se presenta el procedimiento de creación de pronósticos de la demanda de fertilizantes en la metodología de FERTIS:

- 1) Crear un objetivo en la producción de ciertas cosechas de acuerdo con las previsiones demográficas y la accesibilidad de alimentos (kCal/cápita);
- 2) Establecer la recolección de la cosecha requerida de acuerdo con la accesibilidad del areal cultivable;
- 3) Establecer el incremento requerido de fertilización utilizando la función de incremento de la cosecha;
- 4) Verificar el óptimo agronómico con los Servicios de Extensión y calcular la cantidad de fertilizantes requerida;
- 5) Estimar el valor del VCR" (opcional);
- 6) Fijar el precio al agricultor de la cosecha o del VCR" utilizando precios internacionales del NPK;
- 7) Comparar el precio al agricultor de la cosecha con su precio internacional, o el valor del VCR" con la estrategia;
- 8) Fijar posibles aranceles y verificar si sus valores son internacionalmente aceptables por la UNCTAD;
- 9) Verificar alternativas de la importación de abonos;
- 10) Preparar estudios sobre posibilidades de desarrollo de la industria de fertilizantes.

ANNEX V

- 5.1 -

AVANCES EN LA TECNOLOGIA DE FERTILIZANTES

5.1 Avances en la tecnología de preparación de gas

Intercambiador del gas caliente reformado (Gas Heated Reforming Exchanger) La formación del vapor sigue siendo un proceso popular en la producción de amoníaco. Sin embargo un reformador básico, que es el punto central del proceso es el elemento simple más caro de todo el equipo en la producción de amoníaco. Es también muy complicado y exige gran atención en su manejo. Un reformador normal básico trabaja en un nivel más bajo del 50% de su eficacia, el resto está recuperado en forma de vapor obtenido del calor desaprovechado. El exceso de vapor se utiliza generalmente en procesos exteriores y en las fábricas de amoníaco acompañantes.

Se desarrollan dos nuevas concepciones con el fin de mejorar la eficacia del reformador:

1) la introducción del proceso prereformador

La pre-reformación adiabática puede utilizarse en la reformación del vapor de la materia prima del hidrocarburo desde el gas natural hasta el petróleo pesado con el punto final de ebullición cercano a los 200°C un contenido aromático de hasta 30%. El proceso se realiza en el reactor adiabático de BED fijo cargado con el catalizador reformatorio de elevada actividad en relación contra corriente al reformador básico.

En el pre-reformador el hidrocarburo se convierte en una mezcla del óxido de carbono, hidrógeno y metano. Después de esta endotérmica reacción sigue la exotérmica metanización y el traslado de la reacción que ajusta el punto del equilibrio entre el óxido del carbono, metano, hidrógeno y el agua. Esta concepción fue propuesta por Topsoe.

2) La sustitución del reformador básico por el reformador intercambiador caliente (Heat Exchanger Reformer).

El reformador intercambiador es una alternativa al reformador básico convencional calentado por candela. La reformación se realiza en el intercambiador cilíndrico con tubos llenos del catalizador. La concepción del reformador intercambiador elimina totalmente el horno y utiliza el secundario escurrimiento caliente del reformador como la fuente del calor. El exceso del aire que supera la demanda STOICHIOMETRIC o el aire enriquecido en oxígeno en el reformador secundario se necesita para balancear la demanda del calor de la básica reacción de reformación. Chyida propuso esta concepción en 1984 (40,41). Sin embargo ICI fue la primera, Cue ha comercializado el reformador intercambiador llamado Reformador de Gas Caliente (Gas Heat Reformer - GHR) como una parte del proceso de su concepción de amoníaco ( Leading Concept Ammonia - LCA ). El GHR se presentará luego en la parte relacionada al proceso LCA.

Udde ha desarrollado su Reformador Autotérmico Combinado ( CAR ) y ha presentado con éxito el modelo de la producción de 13000 m<sup>3</sup>/h de gas del proceso de 1.7 Mpa (42). CAR es una combinación del reformador intercambiador y de la oxidación parcial en el envase simple. La mezcla del gas natural y del vapor se deja pasar por los tubos llenos del catalizador. Estos tubos se calientan externamente por el gas reformado caliente del sector de oxidación parcial. El comercializado CAR no se implantó hasta 1994.

Similarmente Topsoe ha desarrollado el reformador intercambiador y lo ha comercializado para la producción del hidrógeno, aquí se usa la fuente de calor externa del proceso. Topsoe no lo implantó hasta 1994 el comercializado reformador intercambiador en la producción de amoníaco.

M.W.Kellogg desarrollaron y comercializaron su primer sistema del intercambiador reformatorio ( Kellogg Reforming Exchanger System - KRES) en 1994. La ilustración 12 presenta la concepción de Kellogg, que es similar a las presentadas anteriormente.

La materia prima del desulfurado gas natural se mezcla con el vapor del proceso, se calienta preliminarmente y se divide en dos fuentes que pasan en paralelo por el intercambiador reformatorio y el reformador adiabático ( o reformador secundario). El aire o el aire enriquecido en oxígeno se añade a la parte que entra al reformador adiabático. El escurrimiento del reformador adiabático pasa directamente a la tapa lateral del intercambiador reformatorio. La alimentación mezclada pasa del intercambiador reformatorio por los tubos llenos de catalizadores. El gas reformado saliendo por los tubos está mezclado con EFFLUENT. El gas combinado pasa hasta arriba a la tapa lateral del intercambiador reformatorio suministrando el calor necesario a los tubos con catalizador. Del gas reformado que sale por la tapa del intercambiador reformatorio se recupera el calor y otros elementos del proceso como el SHIFT convertidor, CO<sub>2</sub>, remoción, etc.

M.W.Kellogg Co. comisionó el 1994 su primer comercial intercambiador reformatorio a la planta de Ocelot Ammonia Company en British Columbia en Canadá. El intercambiador reformatorio complementó la alimentación presente de la planta de metanol de depuración de gas desarrollando la eficacia de la fábrica de 544 MTPD (600 STPD) en 40%. Kellogg subraya más bajos costes de capital, que está en relación con reducidos costes de abastecimiento, construcción y más pequeña area; el potencial del consumo de la energía reducida; emisión de NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub> reducida en 75% (43). Las estimaciones de costes y energía no son todavía accesibles.

#### Proceso LCA - concepción de amoníaco de ICI

ICI puso en marcha en 1988 en su propia fábrica en Severnside en Reino Unido dos idénticas instalaciones (450 t/d) de amoníaco que se basaban en el proceso LCA. La concepción LCA es radicalmente diferente del tradicional proceso integrado de reformación del vapor. La necesidad de aumentar la presión del vapor, que existe siempre en las plantas convencionales, aquí está eliminada (37). La concepción LCA separó la unidad-corazón, que consiste en las operaciones del proceso básicas y área de procesos, que contiene el sistema de fuerzas y del vapor, congelación, CO<sub>2</sub>, recuperación y otros procesos.

La instalación básica utiliza el reformador de gas caliente (GHR) en que el reformador primario está calentado directamente por el gas del proceso que sale del reformador secundario. El traslado del CO se realiza en el estadio simple del traslado SHIFT isotérmico del reactor con 250°C, que utiliza un catalizador especial basado en cobre. Con este TRASLADO del catalizador y con temperatura baja no hay peligro de la reacción de Fisher-Tropsch, que permite una pequeña porción de vapor/carbon en el nivel 2.5 en el reformador. El sistema PSA elimina el CO<sub>2</sub> y el exceso del nitrógeno en el gas sintético.

El gas natural se desulfura y pasa por el saturator del gas (FEED GAS SATURATOR), donde entra en contacto con el condensador del circunferencial proceso caliente. El saturator provee más de 90% de vapor exigido para la reformación. Este vapor se mezcla con otra porción de vapor hasta obtener la relación vapor-carbon en el nivel 2.5 y se calienta con la fuente de gas del

reformador. El estimulador (REACTANT) entra en el GRH con la temperatura de salida 700-750°C y la presión 30-45 bar. La mezcla de gas se pone en el reformador secundario con el fin de reformarlo con el exceso de aire del proceso.

- 5.3 -

El gas reformado se enfría mediante el suministro del calor al GRH y el calentamiento primario a los REACTANTS. El gas, reformado y enfriado reemplaza al isotérmico, enfriado con agua SHIFT convertidor en el nivel de 250°C. Después de la conversión SHIFT, el gas es enfriado directamente por el condensador del proceso circunferencial y luego pasa a la unidad PSA para eliminar los excesos de nitrógeno, CO<sub>2</sub> y partes de partes inactivas. Una parte del CO<sub>2</sub> es recuperada de los restos del gas de PSA mediante la amina terciaria sedimentada. El gas al salir de la unidad de PSA está metanizado, enfriado y secado (37).

Los datos para comparar costes del proceso LCA con otros procesos convencionales no son accesibles. Hay solamente datos sobre las plantas presentadas antes, que se basan en esta tecnología.

La concepción de amoníaco de Linde (Linde Ammonia Concept - LAC)

LAC es la combinación de instalaciones de hidrógeno, nitrógeno y de compuesto sintético de amoníaco. La planta hidrogénica utiliza el reformador básico, SHIFT convertidor y PRESSURE SWING ADSORPTION (PSA) para obtener el hidrógeno ultra limpio. El hidrógeno puro se mezcla con el nitrógeno de la Unidad de Separación del Aire para obtener el gas amoníaco sintético sin parte inactiva. Se planea la implantación de esta concepción en 1350 tpd de la planta de amoníaco en GSFC en Baroda, India.

Las diferencias entre este proceso y otros convencionales son las siguientes:

- 1) Se elimina la reformación secundaria del aire. El sector reformatorio que produce el hidrógeno, que se mezcla después con el nitrógeno de la planta de separación del aire, con el fin de producir el gas de amoníaco sintético.
- 2) Se utiliza el traslado (SHIFT) isotérmico del reactor para la conversión SHIFT como se presenta en la ilustración 13 (38).
- 3) Se utiliza PSA para eliminar CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y pocas cantidades de CO del vapor hidrogénico, produciendo 99.999 mol % de vapor hidrogénico puro.

Ventajas del proceso LAC:

- el reactor isotérmico de traslado permite la conversión en 0.7% CO (seco) en una etapa;
- BED de catálisis tiene temperatura fija +/- 250°C gracias a la espiral refrigeradora;
- dentro de los tubos de espira se volatiliza el condensato del proceso y el vapor producido se utiliza en el reformador primario.

Esta tecnología se utiliza en forma comercializada en 10 plantas en todo el mundo.

PSA es capaz de suministrar el hidrógeno puro también en caso de una perturbación de la contra corriente en el reformador. Hay una gran diferencia en comparación con la planta convencional, donde la perturbación del CO SHIFT o la eliminación del CO causa interrupción por la temperatura muy alta en el METHANATOR.

El proceso de amoníaco de KTI de PARC

El proceso de PARC es una combinación de la separación del aire para la producción del nitrógeno; la reformación del vapor; HT SHIFT y PSA para producir el gas sintético. En el PSA adecuado, el nitrógeno puro se utiliza para la mejora de la recuperación del hidrógeno y causa la necesidad del nitrógeno estequiométrico STOICHIOMETRIC. El ciclo de Rankin se usa para generar la energía eléctrica del calor del convertidor de HT SHIFT. Este proceso elimina la necesidad de la reformación secundaria, LT SHIFT, purificación de CO<sub>2</sub>, METHANATION. Si se necesita el CO<sub>2</sub> para la producción de urea, la unidad de purificación de CO<sub>2</sub> se añade antes del PSA.

- 5.4 -

La eficacia energética total balancea entre 7.0 y 7.6 Gcal/t NH<sub>3</sub> y depende de las propiedades de la planta. La unidad de recuperación del CO<sub>2</sub> produce 0.2 Gcal/t de amoníaco.

El proceso económico de Topsoe.

Topsoe sigue perfeccionando la capacidad energética de su construcción mediante la optimización de todas las unidades del proceso de amoníaco y no mediante esquemas radicalmente nuevos. Recién inauguradas unas instalaciones en Indonesia y Bangladesh confirman el consumo de energía durante las pruebas en el nivel 7 Gcal/t de amoníaco.

Se espera también la mejora gracias al POSITIONED UP-STREAM del reformador preliminar que permitirá calentar la alimentación del reformador hasta la temperatura más alta con baja relación vapor-carbón, sin DEPOSITION de CO<sub>2</sub>. Topsoe ha desarrollado también el catalizador de conversión de traslado (SHIFT), que basa totalmente sobre el cobre y no causa la reacción de Fisher-Tropsch con la relación baja entre vapor y el gas seco.

5.2 Los progresos en la síntesis del amoníaco.

El desarrollo está relacionado con dos elementos de la síntesis del amoníaco:

- la construcción del reactor
- el desarrollo del catalizador nuevo

El elemento segundo debe ser presentado. El catalizador férrico tradicional se usa durante más de 10 años. Las ventajas de RUTHENIUM como el catalizador de la síntesis del amoníaco fueron conocidos durante varios años. Sin embargo el precio hacía imposible su utilización. Ahora su precio es más bajo y la posibilidad de la utilización del nuevo catalizador debe ser considerado. La diferencia más importante es el volumen más pequeño del catalizador de RUTHENIUM, más baja presión en la operación, más alta la temperatura, más baja la relación entre hidrógeno y nitrógeno y más alta la presión parcial del amoníaco. Los ahorros inmediatos previstos alcanzan 0.2 - 0.3 Gcal/t de amoníaco. Hasta ahora se conocen resultados del uso del catalizador RUTHENIUM de los primeros días de la operación. La estabilización del tiempo debe ser probada y luego se pueden esperar varias renovaciones. La prueba ha demostrado, que el RUTHENIUM es un catalizador estable: no se sintetiza y su susceptibilidad al envenenamiento es similar a la de los catalizadores clásicos. No obstante el promedio de vida del catalizador depende también de su portador (CARRIER). Hasta ahora se descubrieron dos tipos de portadores: el especial grafito de Kellogg y el soportador cerámico de Topsoe.

El desarrollado proceso de amoníaco de Kellogg (KELLOGG ADVANCED AMMONIA PROCESS -KAAP).

KAAP está realizado por el catalizador de la síntesis del amoníaco, que se basa completamente en el metal. Es el primer proceso comercial, que no usa el tradicional catalizador férrico. El nuevo catalizador fue creado por M. W. Kellogg y British Petroleum (BP). Kellogg y BP demostraron en el proceso de presentación, que el nuevo catalizador con el RUTHENIUM sobre la estructura grafitica adecuada, con varios co-promotores trabaja de 10 a 20 veces mejor que el catalizador ciclo de síntesis en el nivel de 7-9 MPa, en alta conversión del amoníaco (18-22%) y el amplio campo de relaciones entre hidrógeno y nitrógeno. La tecnología KAAP fue comercializada en 1992 en Ocelot Ammonia Co., Citimat, Canadá.

La secuencia básica de la operación del proceso es parecida a la instalación de baja energética de amoníaco basada en la reformación de gas natural y vapor.

El proyecto de KAAP GRASS-ROOTS de la planta de amoníaco tendrá las siguientes propiedades técnicas:

- 5.5 -

- el compresor simple del gas sintético
- corriente radial, el proyecto del convertidor enfriado interiormente
- ciclo de síntesis y de baja presión
- catalizador activo de la síntesis del amoníaco

El reactor de KAAP de GRASS-ROOTS es una corriente radial con 4-capas interiormente enfriadas, un envase con caras calientes. La primera capa usa la carga convencional del catalizador magnético para utilizar el nivel elevado de reacción del amoníaco y baja concentración del mismo. Otras 3 capas son cargadas por el catalizador KAAP.

El reactor KAAP en Ocelot es un convertidor de flujo completo instalado de tal modo que posibilita la cooperación con el convertidor magnético. El reactor es una corriente radial con 2-capas, con caras calientes y aislamiento externo. El intercambiador tiene la función de intercambiar el calor entre la alimentación y el escurrimiento de 1-capa. La alimentación del reactor KAAP contiene 15% de amoníaco. La concentración de amoníaco se intensifica hasta más de 21% en el escurrimiento del reactor KAAP. La conexión del reactor KAAP junto con el calentador nuevo, que calienta los desechos para producir MP vapor por los escurrimientos del reactor KAAP, tienen el potencial del incremento del ciclo de síntesis en 40%.

La tecnología KAAP para la instalación de GRASS ROOT en relación a la tecnología presente de energética baja provee las ventajas siguientes: el uso de energía por el ciclo de síntesis está reducido en 40%, que significa una reducción total del uso de energía en la fábrica en cerca de 1.0 GJ/t. El coste total del capital se reduce en un 5%.

#### Progresos nuevos de Topsoe en el ramo de los reactores de amoníaco

El sistema del convertidor Topsoe S-250 utiliza también dos convertidores de corriente radial conectados en serie con un calentador del calor de desechos entre los convertidores y después del último convertidor.

Este sistema causa un ahorro de la energía en 0.11 Gcal/t de amoníaco en comparación con ciclo S-200.

Topsoe creó un convertidor nuevo S-300, que es un convertidor de la corriente radial con 3 capas y dos intercambiadores de calor internos.

La configuración S-300 es más barata que la S-250 y los ahorros de la energía pueden alcanzar el nivel del sistema S-250.

El convertidor S-300 tiene todas las propiedades del convertidor S-200:

- presión baja gracias a la corriente radial
- el uso del catalizador pequeño de volumen molecular
- alto nivel de conversión por la corriente, gracias al enfriamiento indirecto
- buena operatividad y simple sistema de control de temperatura

Se optó, que S-300 en comparación con S-200 ofrece los mismos resultados con el catalizador más pequeño o la conversión ampliada con el uso de 3 capas.

#### 5.3 TECNOLOGIA DE PRODUCCION DE ACIDO FOSFORICO

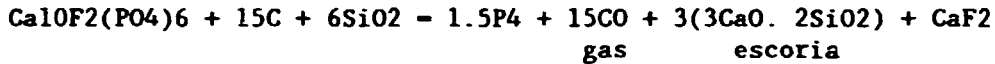
El proceso de producción del ácido fosfórico en el horno.

El primer paso en la producción del ácido es la producción del fósforo elemental en el horno eléctrico.

El horno es llenado de pedazos o terrones de fosfátidos, gravilla de sílice y coque previamente mezclados. La corriente eléctrica, la cual entra en el horno por electrodos de carbón o grafito junta la roca con el sílice, y el carbón en el coque reduce el fosfátido. Una mezcla del vapor de fósforo y el monóxido carbónico es retirado continuamente del horno.

- 5.6 -

El fósforo es condensado al estado líquido, el cual es convertido en ácido fosfórico en línea de producción separada, muy a menudo localizado lejos de la planta de fósforo. Escoria de la sílica de cal líquida y el compuesto de fierro y fósforo, conocido como ferrofósforo son removidos del horno de vez en cuanto. La siguiente ecuación representa la reacción que tiene lugar en el horno:



La ventaja de este proceso es que una roca de fósforo de baja calidad puede ser utilizada, lo cual resulta una contaminación procedente del silice. El óxido ferroso y el óxido de aluminio resultan ser mejores en el proceso del horno que en el proceso mojado. Rocas de silicato y fósforo que contienen alrededor de 24% de P2O5 son usadas en varias plantas. Estas rocas se puede obtener en algunas regiones a un coste muy bajo. Roca que contiene 7% de Al2O3 también es aceptable.

Si terrones o gravilla de tamaño conveniente (0.6 - 4.0 cm) resistentes a la tostación son accesibles, el coste de concentración de la carga resulta entonces conveniente. Sin embargo esta clase de roca se encuentra raras veces. Por esta razón normalmente se aglomera la roca y se la calcina o tuesta antes de introducirla en el horno. El gas del monóxido carbónico el cual es un subproducto procedente del horno y constituye combustible para la calcinación. También entonces este paso es muy caro.

Generalmente entre un 86% y un 92% del P2O5 es recuperado y introducido en el horno. La pérdida del P2O5 en la escoria es de un 3%. De 2% a 8% del P2O5 cargado en el horno es recuperado en forma de ferrofósforo, el cual contiene alrededor de 23% de fósforo, 70% de ferro y cantidades pequeñas de magnesio, silicio y otros elementos metálicos, dependiente de la composición del material cargado. La cantidad de ferrofósforo depende del contenido del óxido ferroso en la carga. El ferrofósforo es vendido a la industria de acero, pero los ingresos solamente compensan parcialmente las pérdidas en la producción.

Del fósforo recuperado como fósforo elemental, alrededor de un 5% tiene la forma de cieno, también después de tomar varias medidas para separar el fango del fósforo limpio. El cieno del fósforo puede ser recuperado después de una combustión separada a fin de producir el ácido fosfórico, gracias a una destilación o a un desague y devolución del producto al fango.

Las principales características del proceso del horno son: relativamente alto coste de la planta y pocos lugares donde la energía eléctrica es accesible a un coste bajo. Por esta razón este proceso es prácticamente solamente utilizado para la producción del fósforo y ácido fosfórico para productos químicos, detergentes, insecticidas, aditivos alimenticios y de alimentos para animales.

La producción del ácido fosfórico y del fósforo elemental es relativamente simple. Consiste en la combustión del fósforo elemental líquido en el aire y la hidratación del P2O5 a H3PO4. El diagrama de una planta típica se demuestra en la ilustración. Todo el equipo para la producción está hecho de acero inoxidable, normalmente del tipo 316. La reacción es:



Una tonelada de P2O5 es recuperada como ácido fosfórico y constituye un 86% del total del material recuperado en una planta con capacidad de producción de unas 100,000 toneladas de P2O5/año. Los requerimientos del proceso típico están presentados en el perfil tecnológico.



Si la roca de fósforo es accesible sin la necesidad de ser previamente aglomerada y calcinada, el coste de la planta será de un 25%-30% más bajo, así como los costes de labor y la necesidad de combustibles será prácticamente eliminada. El subproducto de la reacción-el gas del monóxido carbónico es más que suficiente para el coque, el silice y la roca.

Algunas rocas que han sido utilizadas con éxito en hornos eléctricos sin ser concentradas, calcinadas o tostadas, son gravilla tamizada Florida (más de 6 mm), roca Florida y roca Montana (trituradas y tamizadas). El uso de roca no calcinada puede resultar en un incremento del consumo de energía eléctrica por el horno de un 10%, dependiendo del CO<sub>2</sub> y el contenido del agua.

Las Autoridades del Valle de Tennessee (TVA) comenzaron el proceso de producción de abonos fosfatados en el horno eléctrico en 1933 y producían fósforo y ácido fosfórico desde 1934 hasta 1977. Cinco hornos estaban operando al mismo tiempo. La producción fue abandonada en 1977 porque no podía competir con el proceso mojado de producción de fertilizantes.

Había otros productores de fósforo norteamericanos: FMC, Monsanto, Occidental Chemical, Stauffer Chemical, Albright and Wilson. Los dos más grandes productores: FMC y Monsanto tenían sus plantas de hornos para la producción de fósforo basadas en depósitos de roca de fósforo locales en Idaho. Monsanto cerró su planta de fósforo en Tennessee por razones económicas en 1968, pero desde aquel tiempo desarrolló su producción en Idaho. Stauffer Chemicals (después Rhone-Poulenc Basic Chemicals) tenía plantas de fósforo en Tennessee y Montana, Occidental Chemicals en Quebec. Casi todo el producto de estas plantas ha sido utilizado para la producción industrial de fosfátidos (derivados directos y ácido térrico).

#### 5.4 TECNOLOGIA DE NEUTRALIZACION/GRANULACION

El desarrollo significativo de la tecnología de producción de fosfátidos amoniacales y el NPK concierne el método de mejora del balance del agua, lo cual mejora también la eficiencia de la energía y puede eliminar el preneutralizante: el uso efectivo del reactor de tubo. El aumento del uso de reactores de tubo en el desabastecimiento de plantas viejas y en el diseño de plantas nuevas ha sido muy rápido. La misma cantidad de energía es necesaria como para evaporar el agua procedente del ácido fosfórico. El proceso puede convertirse en autotérmico gracias a la atención prestada durante el proceso de diseño a una buena conservación de energía o gracias a un pequeño incremento en la concentración del ácido utilizado. El reactor de tubo es un tubo grande, en el cual se introducen materias primas. La forma más común del reactor es el reactor T, que tiene un mezclador en forma de la letra T. El mezclador puede tener la forma de la letra X. En el reactor T el amoníaco se introduce en dirección hacia la parte horizontal, el ácido fosfórico y a veces pequeñas cantidades de ácido sulfúrico se añaden al mezclador.

Mientras en el tubo, el ácido fosfórico entra en reacción con el amoníaco, el cieno es producido y descargado del tubo directamente al granulador. La amonificación y la incorporación de productos sólidos, particularmente en el caso de los NPK, tienen lugar en el granulador, el cual generalmente es un granulador de tambor.

El reactor T es en muchos casos substituido por el preneutralizante, el cual es más simple de operar, más barato y su otra ventaja es que el fango no tiene que ser retirado. El reactor T produce un cieno más concentrado y no se necesita una cantidad de agua tan grande como en el preneutralizante. Menos agua tiene que ser introducida con las materias primas, el ácido fosfórico P205 de 54% puede ser utilizado en lugar del ácido de 40%-42% y el índice del procesamiento puede ser reducido. Esto en cambio reduce las dimensiones del equipo necesario, o permite incrementar la capacidad de la planta existente.

- 5.è -

Como la reacción tiene lugar en un espacio pequeño, la balanza térmica del proceso también es mejor. La mayoría del agua es vaporizada en el reactor gracias al calor procedente de la reacción, el producto que sale del granulador es más seco y la energía gastada en el proceso del secado puede ser reducida.

Debajo se presentan las más importantes ventajas del proceso llevado a cabo en el reactor de tubo sobre el proceso de preneutralización:

Costes de inversión más bajos:

- falta de preneutralizador
- índice de procesamiento bajo

Costes de operación reducidos:

- operación autotérmica (sin energía de calentación)
- consumo de energía eléctrica bajo
- pérdida más baja del P2O5 insoluble en el citrato
- alta eficiencia de consumo de amoníaco

Materias primas más adaptables:

- posibilidad de utilizar ácidos fosfóricos de varios orígenes, así como algunos cienos
- posibilidad de suministro de ácido P2O5 de 52%-54% lo cual constituye una ventaja para empresas que importan el ácido fosfórico

Flexibilidad y estabilidad:

- un sistema de lavado comprobado
- control efectivo de condiciones de granulación

Grandes posibilidades de composición de productos:

- MAP, DAP, o varios tipos de NPK

Nivel bajo de influencia en el medio ambiente:

- bajos valores de emisión de acuerdo con valores estandarizados de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA)(USA).

El contenido del P2O5 en el DAP producido en el reactor de tubo es casi completamente soluble en el citrato.

El diagrama de flujo en el reactor en forma de la letra X es parecido al flujo en el reactor T con esta diferencia que el cieno del lavagases puede ser introducido en el reactor directamente vía una boca de entrada adicional. La descarga del reactor es realizada directamente al granulador. Se recomienda un enfriamiento parcial antes de tamizar, después del cual tiene lugar un enfriamiento final antes del almacenaje. El consumo de energía durante el proceso es 90kWh/tonelada, pero el secado del producto no es necesario.

El reactor de presión es fabricado de un tubo 316L inoxidable, de 25.4 cm de diámetro y 13.72 m de longitud. 10.36 m del tubo está fuera del granulador y está inclinado a unos 10°, esta sección está completamente aislada. El amoníaco gaseoso se introduce en el tubo. El cieno es descargado por un tubo a unos 92 cm por encima del material en el granulador. TVA recomienda que la velocidad del aire introducida en el granulador sea de 1.22 m/segundo.

Además del proceso de TVA, las siguientes compañías han desarrollado sus propios procesos.

1. El proceso de Uhde GmbH.

Para proporcionar condiciones estables de operación del proceso del reactor de tubo, Uhde de Dortmund ha desarrollado un programa para ordenador además de los siguientes cambios: control del aire introducido en el granulador, un círculo líquido separado para la circulación del lavagases, un tambor de granulación más grande, el uso del amoníaco líquido en el reactor de tubo.

El ácido proveniente de la sección de lavado se introduce junto con la principal corriente de ácido en el reactor de tubo y se añade amoníaco y ácido sulfúrico. En una planta para 1,000 MTPD DAP se utilizan dos reactores, cada cual capaz de producir 25-60% del total del material (si se requiere un nivel bajo de producción, un reactor es suficiente). El limo de los reactores de tubo es descargado al granulador y reciclado.

El índice de reciclamiento es normalmente 3-4 y la temperatura de granulación mantenida en unos 100-110 oC gracias a la ventilación del granulador. El contenido de la humedad en el producto es 2.6-2.8%.

Después de salir del granulador el producto es secado y enfriado en una corriente retrógrada de aire de temperatura del ambiente. Después es tamizado, el material demasiado pequeño o grande es reciclado y el resto del material es enfriado en una máquina frigorífica de travesía líquida.

En el círculo de granulación tiene que ser utilizado solamente un elevador, el transportador para el reciclamiento no es necesario porque el material reciclado se mueve gracias a la gravitación, se utilizan tamices singulares, el triturador de pedazos que está fuera de la corriente principal del reciclamiento puede ser utilizado cuando la planta está en operación.

En una planta generalmente idéntica se puede producir una variedad de productos de NPK introduciendo simplemente materias primas adicionales. En la producción de NPK se pueden obtener índices de reciclamiento de 1.5-2. Dependiendo del producto las materias primas pueden ser sólidas o líquidas. En el caso previo, el material de dimensiones apropiadas (<2mm) se introduce en el sistema de reciclamiento, en el siguiente caso, es introducido directamente en el granulador.

El consumo típico de materias primas se presenta en la tabla.  
 Tabla 5.1 Perfil tecnológico del proceso de Uhde GmbH

Costes componentes\producto	Unidades por tonelada	DAP\1 18-46-0	NPK\2 17-17-17
<b>Materias primas:</b>			
Acido fosfórico (42% P2O5)	kg	1035	383
Acido sulfúrico (100% H2SO4)	kg	50	36
Amoniaco líquido	kg	222	61
Nitrógeno amoniacal (96%)	kg	0	362
Sal de potasio (60% K2O)	kg	0	286
<b>Facilidades:</b>			
Agua para el proceso	kg	5	144
Vapor (LP)	kg	30	22
Energía	KWh	35	35
Gas natural	Nm3	-3	3.7
Aire del instrumento	Nm3\h	55	55

- 1\Capacidad nominal 1,000 MTPD
  - 2\Capacidad nominal 1,200 MTPD
  - 3\Durante el comienzo de trabajo de la planta: 1000 Nm<sup>3</sup>
- Llamadas:
- Planta de 650 MTPD en BAFGAS. BANDIRMA (Turquía)
  - Planta de 1000 MTPD en SASOL, SECUNDA (Africa del Sur)
  - Planta de 500 MTPD en NCZ, KAUFÉ (Zambia)

## 2. Tecnología de Cros S.A.

El proceso del reactor de tubo desarrollado por Cros S.A. de Barcelona y licenciado por Incro S.A. de Madrid se utiliza en varias plantas. Para la producción de DAP. el proceso es parecido al previamente presentado con el reactor de tubo en vez del preneutralizador. El cieno descargado del reactor de tubo contiene 4-5% de humedad (el proveniente del preneutralizador contiene unos 12-14% de humedad). Si se considera solamente el balance de agua, el índice del reciclamiento será alrededor de 2. Aunque el aire se pasa por el granulador para reducir la temperatura, no es suficiente para mantener la temperatura por debajo de 90 °C, lo cual es necesario para una buena granulación. El reciclamiento enfriado tiene que ser utilizado para controlar la temperatura y el índice del reciclamiento aumenta.

En muchas plantas de producción de fosfato amónico tiene que existir la posibilidad de producir fertilizantes multinutrientes de NPK. Esto se puede obtener utilizando el reactor de tubo, pero Cros ha desarrollado un proceso combinado con la utilización de ambos: el reactor de tubo y el preneutralizador. Dependiendo del producto y la capacidad el reactor de tubo y el preneutralizador están operando juntos o separados.

Llamada: Planta de 1200 MTPD en ENGRAIS DE GABES (Tunisia)

## 3. ERT-Tecnología de Espindesa

Una característica particular del proceso desarrollado por ERT-Espindesa de Madrid es que la reacción al MAP o DAP tiene lugar en el reactor de tubo y por esto la amonificación adicional no es necesaria. Porque no se necesita más amoníaco adicional, el producto granulado o en polvo puede ser fácilmente producido. Para obtener el producto en forma de polvo, el reactor tiene que ser descargado en la cima de la torre. Una planta de este tipo está produciendo MAP en España desde 1981. El reactor de tubo en el cual se introduce el ácido fosfórico y el amoníaco está localizado cerca de la cima de una torre de 17 m de altura. El índice molar de NH<sub>3</sub>:H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> es ajustado para dar el requerido por el producto, el contenido de humedad del ácido fosfórico es controlado para asegurar que el producto contenga 4-6% de humedad. El MAP en polvo se remueve del fondo de la torre en la temperatura de 60 °C. El DAP en polvo fue producido en un sistema similar en una planta piloto de capacidad de 400kg/h y la planta existente de producción de MAP fue convertida para poder producir DAP.

El proceso de producción del DAP granulado tiene una característica especial: todo el ácido fosfórico es utilizado en el lavagases de dos etapas, en el cual la mayoría de amoníaco perdido en el granulador es recuperado. El ácido parcialmente neutralizado, proveniente del lavagases tiene un índice molar de NH<sub>3</sub>:H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> de 0.25 y es introducido en el reactor cuando el índice alcanza 1.9-2.05 y depende de las impurezas presentes en el ácido.

Dependiendo de las impurezas en el ácido fosfórico, el reactor de tubo puede ser hecho de 316 L acero inoxidable o de uranio B 6. El diámetro y longitud de los tubos varían de acuerdo con el diseño.

- 5.11 -

Para 25t/h de DAP, el diámetro es 10.2 cm y la longitud es 6.1 m de los cuales solamente 1.52 m se encuentra dentro del granulador. La descarga del rector de tubo tiene lugar directamente en el granulador de tambor rotativo. El amoníaco no es añadido al granulador.

El índice del reciclamiento puede ser mantenido en unos 2.5-3.5 y en la salida del granulador, el contenido de humedad del DAP es menos que el 3%. El secamiento tiene lugar en una máquina secadora rotativa, después del cual el producto es tamizado.

El gas del granulador es introducido via el lavagases de amoníaco y después por el lavagases final. El gas de la máquina secadora también pasa por el lavagases final antes de ser liberado a la atmósfera.

El consumo por tonelada de DAP de materias primas y facilidades se demuestra en la tabla.

Tabla 5.2 Perfil tecnológico del ESPINDESA

Coste de componentes\producto	Unidades	Unidades por tonelada DAP(18-46-0)
Materias primas:		
Amoniaco (100%)	kg	221
Acido fosfórico (como 100% P2O5)	kg	463
Facilidades:		
Vapor	kg	1
Energía	KWh	25
Aceite combustible	kg	2

Llamada:

MAP en polvo - planta de 500 MTPD en HUELVA (España)

4. Proceso de AZF (ahora Grande Paroisse)

CdF Chimie AZF de Paris, o mejor dicho una de las compañías de grupo (GESA) que se juntaron en 1983 para formar una organización, está operando reactores de tubo desde 1974. Al principio se usaba solamente un reactor que descargaba al granulador de una manera convencional. Su operación daba resultados satisfactorios mientras se producían tales fertilizantes como 6-15-30 o 16-20-0, pero cuando comenzó la producción de productos de grado análisis más alto, como el 17-17-17, 18-22-12 y 23-23-0, los cuales se basan en el fosfato de amonio y nitrógeno amoniacal, resultó necesario obtener un índice de reciclamiento alto, posiblemente más alto que en el proceso convencional con el preneutralizador. El reciclamiento alto se obtenía gracias a la introducción del cieno y vapor a alta temperatura al granulador, lo cual aumenta la temperatura del material granulado e incrementa el grado de solución y la fase líquida.

Este problema puede ser solucionado liberando una parte del calor producido. En práctica esto fue solucionado introduciendo al sistema otro reactor de tubo. En el proceso de reactor de tubo doble de AZF, el segundo reactor está localizado en la máquina secadora.

- 5.12 -

El reactor de tubo en el granulador está diseñado para recibir parte del ácido fosfórico, parte del amoníaco (líquido o gaseoso) y todas las demás materias líquidas - ácido sulfúrico, si es requerido, líquido para el lavagase reciclado, y posiblemente soluciones concentradas del nitrógeno amoniacal o urea, aunque estos pueden ser introducidos directamente al granulador. El índice de amoniación varía con relación al producto entre 0.6 y 1.4. La siguiente amoniación tiene lugar en el granulador.

En la máquina secadora, se introduce solamente el amoníaco y el ácido fosfórico al reactor de tubo. El índice de N:P es mantenido en 1.05, como es MAP el que es producido principalmente. La contrapresión varía entre 3 y 5 bar.

Los gases del granulador y la máquina secadora son lavados con fosfato amoniacal que recircula, sulfato amónico o solución de sulfofosfato amoniacal. Los ácidos: sulfúrico y fosfórico se añaden, si es necesario y la solución que queda se introduce al reactor de tubo del granulador. El gas es finalmente soltado a través de una columna ciclónica mojada con una solución ácida.

Tabla 5.3 Perfil tecnológico del proceso de AZF

Coste de componentes	Unidades	Unidades por tonelada DAP(18-46-0)
Materias primas:		
Amoníaco (100%)	kg	220
Acido fosfórico (100% P2O5)	kg	468
Acido sulfúrico (100%)	kg	5
Facilidades:		
Vapor	kg	50
Combustible	kg	10

Llamadas:

Planta de 1200 MPTD en GRANDE PAROISSE, ROUEN (Francia)

Planta de 1600 MPTD en SAEPA, GABES (Tunisia)

Planta de 4 x 1200 MPTD en MAROC PHOSPHORE, JORF/LASFAR (Marruecos)

5. Proceso de Norsk Hydro

Otro tratamiento del tema de la limitación del consumo de energía es la utilización de reactores de presión, como los promovidos por Norsk Hydro Fertilizers. Este sistema tiene varias ventajas:

- la solubilidad del fosfato amoniacal se incrementa con la temperatura,
- con el aumento de la presión se incrementan los puntos de ebullición de las soluciones.

Gracias a la introducción de la presión al sistema de reacción, la temperatura de la solución del fosfato amoniacal puede ser elevada encima de su punto de ebullición. Por esta razón el reactor de presión puede ser operado con el contenido de agua más bajo que los reactores atmosféricos, porque las solubilidades pueden así obtenerse, lo cual no se puede lograría bajo condiciones atmosféricas.