

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Química

**DISEÑO, CONSTRUCCION Y PUESTA EN
MARCHA DE UNA PLANTA DE PRODUCCION
DE FERTILIZANTE LIQUIDO NITROGENADO
(UAN)**

FRANK AGUSTIN DALTON



Guatemala

1998

DEDICATORIA:

Este trabajo se lo dedico a mi querida esposa Tania, por su apoyo y paciencia en la realización del mismo.

AGRADECIMIENTO:

Mis sinceros agradecimientos a las siguientes personas, por su colaboración y ayuda en la realización de este trabajo:

Ing. José Eduardo Calderón
Ing. Estuardo Sinibaldi
Jorge Tuch
Ana de Mendizábal

Asimismo, se agradece a todas las personas de Grupo Disagro que han participado de una u otra forma en el proyecto del UAN en la empresa; ya sea en la construcción de la planta, fabricación del producto, o la venta y aplicación del mismo.

**DISEÑO, CONSTRUCCION Y PUESTA EN
MARCHA DE UNA PLANTA DE PRODUCCION
DE FERTILIZANTE LIQUIDO NITROGENADO
(UAN)**

RESUMEN

El trabajo comprende el diseño, construcción y puesta en marcha de una planta de producción del fertilizante líquido nitrogenado UAN 32%N. Este fertilizante de alto valor agronómico es una solución cristalina de urea y nitrato de amonio.

Se inicia con un estudio de mercado y uno de la tecnología de producción. Sobre la base de estos estudios se establecen los parámetros de diseño de la planta. El proceso de producción consiste, principalmente, en la disolución de sólidos en agua. Se aprovecha la composición eutéctica (el significado de este término se explica en la sección 2.4) que se da entre la urea y el nitrato de amonio, que son las materias primas básicas para la producción del fertilizante líquido UAN. Este fenómeno permite que se alcance una concentración de nitrógeno relativamente alta, lo cual facilita un manejo y transporte más económico. Con el estudio técnico se llega al diseño e ingeniería de la planta.


La planta se construyó en una localidad de la empresa, ubicada en las afueras de la ciudad de Escuintla. La planta se puso en marcha exitosamente, resolviéndose los problemas encontrados en la producción de los primeros cinco lotes. Se optimizaron los parámetros del proceso de mayor impacto en el costo directo del proceso: el costo de combustible para la generación de vapor y la mano de obra directa.

Esta es la primera planta que participa en el mercado guatemalteco que produce un fertilizante líquido nitrogenado bajo un esquema que permite competir con los fertilizantes sólidos nitrogenados que actualmente predominan en el mercado. Paradójicamente, se utiliza una estrategia de producción que necesita de la misma infraestructura de transporte, manejo y almacenamiento que se utiliza en los fertilizantes sólidos a granel.


Con la introducción del fertilizante líquido UAN a condiciones de precios competitivos se están satisfaciendo necesidades que muchos clientes actualmente tienen, especialmente aquellos que en sus cultivos cuentan con sistemas de irrigación.


En los países desarrollados, la utilización de fertilizantes fluidos está plenamente difundida, especialmente en el renglón de los fertilizantes nitrogenados. Los fertilizantes fluidos nitrogenados incluyen al amoníaco anhidro, soluciones a base de amoníaco, soluciones a base de urea y nitrato de amonio como el UAN, y mezclas de estas soluciones. En estos países, la participación de los fertilizantes fluidos en el segmento de fertilizantes nitrogenados está por arriba de la de los fertilizantes sólidos.

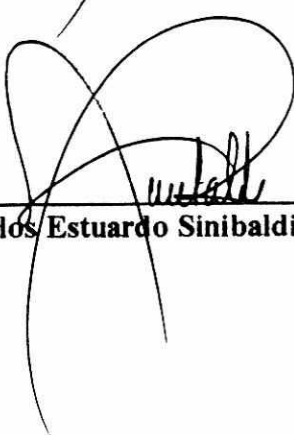
Vo. Bo.

(f) 
Asesor Ing. José Eduardo Calderón García

Tribunal:

(f) 
Ing. José Eduardo Calderón García

(f) 
Ing. Gamahel Giovanni Zambrano Ruano

(f) 
Ing. Carlos Estuardo Sinibaldi Palacios

Fecha de aprobación: Julio 07, 1998

CONTENIDO GENERAL

	PAGINA
I. INTRODUCCION	1
II. ANTECEDENTES	5
- DEFINICION DE FERTILIZANTES FLUIDOS Y SU SITUACION EN EL MERCADO DE FERTILIZANTES	5
- DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO	8
- ESTRATEGIA DE PRODUCCION DEL FERTILIZANTE LIQUIDO NITROGENADO (UAN)	9
- CONCEPTOS BASICOS DE FISICOQUIMICA, COMPOSICION EUTECTICA	14
- SOLUBILIDAD, CALOR DE SOLUCION, TEMPERATURA DE CRISTALIZACION Y TIEMPO DE MEZCLADO	16
- COORDENADAS TRIANGULARES EQUILATERAS	24
- SOLUCIONES DE UREA Y NITRATO DE AMONIO	28
- SEDIMENTACION POR GRAVEDAD, CLARIFICACION	32
- CONTROL DE LA CORROSION	36
- ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PRODUCTO, CONTROL DE CALIDAD	37
III. JUSTIFICACION	44
IV. OBJETIVOS	46
- OBJETIVOS GENERALES	46
- OBJETIVOS ESPECIFICOS	46
V. PROBLEMA A RESOLVER	48
VI. METODOLOGIA	50
VII. RESULTADOS	52
- ESTUDIO DE MERCADO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS GUATEMALA	52
- UBICACION DE LA PLANTA, ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS Y PRODUCTOS TERMINADOS	57
- SELECCION Y DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE PROCESO	
DIAGRAMA DE DISTRIBUCION DEL EQUIPO (PLANT LAYOUT)	58
- LISTADO GENERAL DEL EQUIPO DE PROCESO	70
- SERVICIOS DE AGUA Y ELECTRICIDAD, OBRAS CIVILES	74
- INSTALACION DEL EQUIPO DE PROCESO	80
- FOTOGRAFIAS DE LA PLANTA Y EQUIPO DE PROCESO	83
- PRUEBA HIDROSTATICA Y PRUEBA DE LOS EQUIPOS INDIVIDUALES	84
- PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA DE UAN Y OPTIMIZACION DEL PROCESO	96
- SELECCION DEL AGENTE DE CONTROL DE LA CORROSION	103
VIII. DISCUSION	107
IX. CONCLUSIONES	113
X. RECOMENDACIONES	115
XI. BIBLIOGRAFIA	119
ANEXO :	
METODO DE CALCULO PARA DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO	121

INDICES DE TABLAS, GRAFICAS Y FIGURAS

INDICE DE TABLAS

		PAG.
TABLA 2.5.1	FACTORES DE TIEMPO-MEZCLA COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA DE CRISTALIZACION	20
TABLA 2.5.2	ESTIMACION DE FACTORES DE TIEMPO-MEZCLA PARA VARIAS TEMPERATURAS DE CRISTALIZACION	22
TABLA 2.7.1	PROPIEDADES DE SOLUCIONES DE UREA Y NITRATO DE AMONIO	31
TABLA 2.7.2	PROPIEDADES DE LAS SOLUCIONES DE UAN FABRICADAS A PARTIR DE UREA Y NITRATO DE AMONIO SOLIDOS	31
TABLA 2.10.1	HOJA DE ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PRODUCTO	38
TABLA 7.1.1	MERCADO POTENCIAL DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EN GUATEMALA . 1997	54
TABLA 7.1.2	MERCADO ACTUAL DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EN GUATEMALA. 1997	54
TABLA 7.1.3	PROYECCION DE MERCADO OBJETIVO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS. 1998-2002	55
TABLA 7.1.4	PROYECCION DE PARTICIPACION DEL UAN EN EL MERCADO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS. 1998-2002	55
TABLA 7.1.5	PROYECCION DE MERCADO DE UAN EN GUATEMALA. 1998-2002	56
TABLA 7.3.1	DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO DE PROCESO	66
TABLA 7.4.1	EQUIPO DE PROCESO COMPRADO	75
TABLA 7.5.1	RESULTADOS DE ANALISIS DE AGUA	79
TABLA 7.9.1	HOJA DE FORMULACION DEL UAN	99
TABLA 7.9.2	RESULTADOS DE PUESTA EN MARCHA DE LA FABRICA	100

INDICE DE GRAFICAS

		PAG.
GRAFICA 2.1.1	PARTICIPACION DE LOS FERTILIZANTES FLUIDOS EN EL MERCADO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS DE ESTADOS UNIDOS DE AMERICA	7
GRAFICA 2.1.2	CRECIMIENTO DE LOS FERTILIZANTES FLUIDOS EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA	7
GRAFICA 2.5.1	FACTOR TIEMPO-MEZCLA COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA DE CRISTALIZACION	20
GRAFICA 2.6.1	COORDENADAS TRIANGULARES EQUILATERAS	27
GRAFICA 2.6.2	LA REGLA DE MEZCLADO	27
GRAFICA 2.7.1	SISTEMA DE SOLUBILIDAD PARA UREA, NITRATO DE AMONIO Y AGUA	30
GRAFICA 2.8.1	EFFECTOS DE LA COHESIVIDAD DE LAS PARTICULAS Y CONCENTRACION DE SOLIDOS EN LAS CARACTERISTICAS DE ASENTAMIENTO DE UNA SUSPENSION	34
GRAFICA 2.10.1	ANALISIS DE SOLUCIONES NITROGENADAS A 30°C	42

INDICE DE FIGURAS

		PAG.
FIGURA 2.2.1	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO	11
FIGURA 7.3.1	AGITADOR DE DISCO	60
FIGURA 7.3.2	DIAGRAMA DE DISTRIBUCION DE EQUIPO (PLANT LAYOUT)	72
FIGURA 7.7.1	MEZCLADOR Y ACCESORIOS	85
FIGURA 7.7.2	CLARIFICADORES PRIMARIOS	85
FIGURA 7.7.3	FILTRO	87
FIGURA 7.7.4	EDUCTOR	87
FIGURA 7.7.5	TORNILLO TRANSPORTADOR	89
FIGURA 7.7.6	PANEL DE CONTROL E INDICADOR DE PESO	89
FIGURA 7.7.7	TOLVAS DE MATERIAS PRIMAS SOLIDAS	91
FIGURA 7.7.8	CALDERA DE VAPOR	91
FIGURA 7.7.9	TANQUE DE AGUA DE PROCESO	93
FIGURA 7.7.10	ESTACION DE DESPACHO A CISTERNAS	93

I. INTRODUCCION

Este trabajo profesional comprende el diseño, construcción y puesta en marcha de una planta de producción del fertilizante líquido nitrogenado UAN (siglas en inglés para "urea-nitrato de amonio"). Este fertilizante es una solución cristalina de urea y nitrato de amonio que posee un gran valor agronómico al suministrar nitrógeno en tres formas: uréica, amoniacal y nítrica. La concentración típica de nitrógeno total en las soluciones líquidas de UAN en el mercado internacional es de 28 a 32% de nitrógeno total. La concentración para un determinado lugar varía de acuerdo a la temperatura ambiente en donde se maneje, de tal forma que se evite la cristalización de las sales disueltas. La concentración típica de 32% de nitrógeno que se planea producir en la planta, con una temperatura de cristalización de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, no será problema en la mayoría de regiones agrícolas de Guatemala. Esta concentración es lo suficientemente alta en comparación con la de los fertilizantes sólidos (urea con 46%, nitrato de amonio con 33% y sulfato de amonio con 21% de nitrógeno) lo que hace que el UAN sea económicamente viable en su manejo, almacenamiento y transporte.

Esta es la primera planta que participa en el mercado guatemalteco que produce un fertilizante líquido nitrogenado bajo un esquema que permite competir con los fertilizantes sólidos nitrogenados que actualmente predominan en el mercado. Algo importante en el proyecto de producir este fertilizante líquido es que utiliza una estrategia de producción que necesita de la misma infraestructura de transporte, manejo y almacenamiento que se utiliza en los fertilizantes sólidos a granel. Esto se debe a que las principales materias primas (urea y nitrato de amonio prilados) para el fertilizante líquido UAN son sólidas hasta el momento de utilización en la planta que se construyó. De aquí resulta que el incremento en la inversión que representa este proyecto es modesto al compararse con la inversión que a través de los años

se ha realizado en infraestructura para el manejo de fertilizantes sólidos a granel. Asimismo este incremento en la inversión es también muy modesto al compararse con la inversión que se requeriría para transportar, importar y almacenar el fertilizante UAN en forma líquida a granel, desde su origen en otros países. Todo esto se constituye en la razón determinante para el interés de la empresa Grupo DISAGRO en el fertilizante líquido UAN.

La infraestructura que ya se tiene para el manejo de graneles sólidos incluye equipo de descarga de barcos a granel, transporte terrestre a granel, equipo de recepción a granel, equipo de pesaje, equipo de ensacado en puerto y en planta, y muy importante, espacio de almacenaje, tanto a granel como para productos ensacados. La empresa gestiona sus compras de materias primas directamente en el mercado internacional de fertilizantes a través de relaciones con los grandes fabricantes en la industria global de fertilizantes. La empresa contrata directamente sus barcos en el mercado internacional, cuenta con sus propias empresas estibadoras y de transporte, y cuenta con complejos de recepción de graneles tanto en la costa del Atlántico en Puerto Barrios y Puerto Santo Tomás de Castilla, como en la costa del Pacífico en Puerto Quetzal. Toda esta gran capacidad logística y economía de escala es una de las principales fuentes de ventaja competitiva de la empresa que contribuyen a un posicionamiento de líder en el mercado de fertilizantes guatemalteco, así como a su despliegue y penetración a los mercados de otros países en la región (Honduras, Costa Rica, México-Sur). Esta infraestructura fue plenamente aprovechada en la producción del fertilizante líquido UAN de acuerdo a la estrategia de producción que se utilizó en este proyecto.

Con la introducción del fertilizante líquido UAN a condiciones de precios competitivos se están satisfaciendo necesidades que muchos clientes actualmente tienen, especialmente aquellos que en sus cultivos cuentan con sistemas de irrigación. Incluso para aquellos

segmentos que no cuentan con sistemas de irrigación, los fertilizantes líquidos, bajo ciertas condiciones, pueden representar ventajas sobre los fertilizantes sólidos que actualmente predominan en el mercado. Las ventajas comprenden una mejor eficiencia nutricional en ciertas condiciones, facilidad de manejo, y su compatibilidad y/o sinergia en aplicaciones en mezcla con productos fitosanitarios.

Cabe mencionar que la planta que se construyó tiene la capacidad de producir no sólo el fertilizante líquido en solución UAN, sino también toda una gama de fertilizantes líquidos en solución conteniendo los otros nutrientes primarios, secundarios y micronutrientes. Además, con una mínima inversión adicional, tendría la capacidad de producir no sólo fertilizantes líquidos en solución como el UAN, sino también fertilizantes líquidos en suspensión. Sin embargo, por no considerarse dentro de los planes inmediatos de la empresa la introducción comercial de estos productos, quedaron totalmente fuera del contexto del proyecto.

Este trabajo se inició con un estudio de mercado y un estudio técnico de la tecnología de producción. Sobre la base de estos estudios se establecieron los parámetros de diseño de la planta. El proceso de producción consiste principalmente en la disolución de sólidos en agua. Se aprovecha la composición eutéctica (el significado de este término se explica en la sección 2.4) que se da entre la urea y el nitrato de amonio, que son las materias primas básicas para la producción del fertilizante líquido UAN. Este fenómeno permite que se alcance una concentración de nitrógeno relativamente alta, lo cual facilita un manejo y transporte más económico.

Con el estudio técnico se llegó al diseño e ingeniería de la planta. Luego se procedió a la compra, fabricación e instalación del equipo de proceso. Finalmente se efectuaron las pruebas para llegar a la puesta en marcha de la planta a escala comercial y la optimización del proceso.

El autor de este trabajo profesional participó en todas las actividades del proyecto. El autor realizó el estudio de mercado en base a información interna de la empresa. El autor efectuó directamente el estudio técnico de la tecnología de producción así como el diseño e ingeniería de la planta. El autor efectuó directamente la compra de la mayor parte del equipo de proceso y dirigió la construcción del equipo restante. Finalmente, el autor dirigió el montaje del equipo de proceso, la puesta en marcha de la planta y la optimización del proceso.

II. ANTECEDENTES

DEFINICION DE FERTILIZANTES FLUIDOS Y SU SITUACION EN EL MERCADO DE FERTILIZANTES:

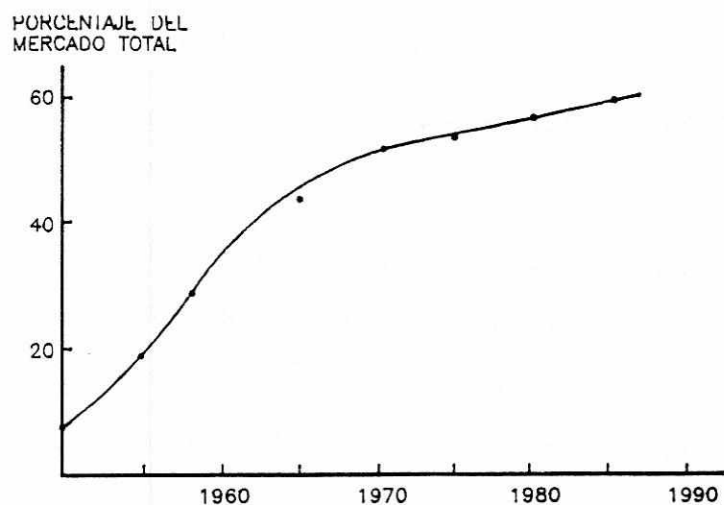
Los fertilizantes pueden clasificarse en varias formas. Una de las mas usuales en clasificarlos es en base a su estado físico. Resultan de aquí los fertilizantes fluidos y los fertilizantes sólidos. Dentro de los fertilizantes fluidos se incluyen los fertilizantes en fase líquida y los fertilizantes en fase gaseosa. En la práctica, en el mercado global de fertilizantes, el único fertilizante en fase gaseosa (a presión y temperatura ambiente) que se comercializa es el amoníaco anhidro. Comparativamente, los fertilizantes en fase líquida se presentan en la industria en varias formas que incluyen soluciones cristalinas y suspensiones, y cubriendo toda la gama de nutrientes primarios, secundarios y elementos menores. Los fertilizantes en fase sólida, por su parte, se presentan en una serie de materiales con diversas fuentes de nutrientes, que generalmente se comercializan en forma de gránulos, perdigones (aglomerados producidos en torres de prilado con tamaños de partícula típicamente entre 1-3 mm de diámetro), finos cristales, polvo, etc. A los fertilizantes en forma de gránulos se les denomina granulares, a los de forma de perdigones se les denomina prilados o perlados. El objeto de granular o prilar los fertilizantes es para minimizar el polvo y para que fluyan mejor y así puedan manejarse, transportarse y aplicarse mas eficientemente.

En los países desarrollados, la utilización de fertilizantes fluidos está plenamente difundida, especialmente en el renglón de los fertilizantes nitrogenados. Los fertilizantes fluidos nitrogenados incluyen al amoníaco anhidro, soluciones a base de amoníaco, soluciones a base de urea y nitrato de amonio como el UAN, y mezclas de estas soluciones. En estos países, la

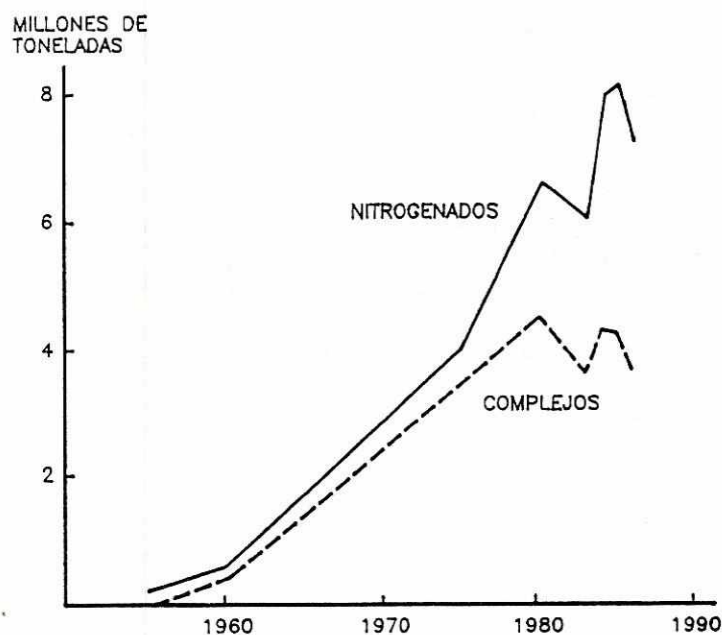
participación de los fertilizantes fluidos en el segmento de fertilizantes nitrogenados está por arriba de la de los fertilizantes sólidos.

En Estados Unidos por ejemplo, hoy día más del 60% de los fertilizantes nitrogenados aplicados son fluidos. Tanto el amoníaco anhidro como las soluciones nitrogenadas (en donde sobresale el UAN) han desplazado totalmente a los fertilizantes sólidos nitrogenados tradicionales como la urea, nitrato de amonio y sulfato de amonio, tal como se ve en la Gráfica 2.1.1. Sin embargo, cuando se trata de fertilizantes complejos (aquellos que tienen 2, 3 o más nutrientes), el incremento en la utilización de fertilizantes fluidos no ha sido tan alto y se ha estancado en un punto que representa alrededor del 40% del mercado de los fertilizantes complejos, tal como se ve en la Gráfica 2.1.2. [5]

En Guatemala, la situación es muy diferente ya que hasta la fecha los fertilizantes sólidos han dominado plenamente el mercado de fertilizantes incluyendo el segmento de fertilizantes nitrogenados. Esto se debe a una serie de factores derivados de las condiciones agrícolas tradicionales, tales como la extensión de la finca promedio y la topografía de los campos agrícolas; que favorecieron el despliegue de los fertilizantes sólidos sobre los fluidos. De esta forma, la infraestructura que se ha construido en Guatemala a través de los años ha sido orientada a los fertilizantes sólidos.



GRAFICA 2.1.1 PARTICIPACION DE LOS FERTILIZANTES FLUIDOS EN EL MERCADO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS DE ESTADOS UNIDOS DE AMERICA
Fuente: Palgrave, 1991 [5]



GRAFICA 2.1.2 CRECIMIENTO DE LOS FERTILIZANTES FLUIDOS EN LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA
Fuente: Palgrave, 1991 [5]

DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO:

Tal como se dijo anteriormente, el proceso de producción consiste principalmente en la disolución de sólidos en agua. Se aprovecha la composición eutéctica (el significado de este término se explica en la sección 2.4) que se da entre la urea y el nitrato de amonio que son las materias primas básicas para la producción del fertilizante líquido UAN. Este fenómeno permite que se alcance una concentración de nitrógeno relativamente alta lo cual ofrece un manejo y transporte más económico. Considerando que tanto la urea como el nitrato de amonio tienen un calor de disolución negativo, la reacción es endotérmica por lo cual se suministra el calor de disolución a través de vapor de agua que es inyectado a la mezcla de las materias primas sólidas con el agua de proceso. La disolución se efectúa en un tanque mezclador con agitador y con un sistema de recirculación de alto caudal. El lote del mezclador se bombea hacia un sistema de tanques de sedimentación en donde se dejará reposar para clarificar la solución. El producto clarificado se bombea hacia el tanque de almacenamiento o directamente al despacho hacia unidades de transporte terrestre. Dependiendo del tipo y cantidad de impurezas no solubles que las materias primas sólidas contengan, puede que se necesite agregar una operación de filtrado. De esta forma se evitarían tiempos de clarificación excesivos. En la Figura 2.2.1 se muestra el diagrama de flujo del proceso en donde se identifican los diferentes equipos de proceso, tubería, servicios, etc.

ESTRATEGIA DE PRODUCCION DEL FERTILIZANTE LIQUIDO NITROGENADO (UAN):

Todo el UAN que se maneja en la industria mundial de fertilizantes proviene, de alguna forma, de las plantas que producen separadamente urea y nitrato de amonio. Muchas veces se encuentran complejos industriales de varias plantas que producen tanto urea en forma sólida como nitrato de amonio en forma sólida además de UAN y otra gama de soluciones nitrogenadas. Para producir tanto la urea como el nitrato de amonio (y por ende el UAN), se requiere de amoníaco. Algunas plantas producen su propio amoníaco a partir de hidrocarburos mientras que otras se abastecen de amoníaco en el mercado.

El fertilizante líquido UAN normalmente se produce en estos complejos mezclando la solución madre de la planta de urea con la solución madre de la planta de nitrato de amonio. De esta manera, se ahorran las operaciones de secado y aglomeración (prilado o granulación) que se requieren para producir la urea o el nitrato de amonio en forma sólida. El costo de producción del UAN es entonces mas bajo, por unidad de nitrógeno, que el equivalente de urea y nitrato de amonio en forma sólida (prilado o granular). En el mercado, la relación entre el precio por unidad de nitrógeno entre el fertilizante líquido UAN y el equivalente de urea y nitrato de amonio en forma sólida varía de acuerdo a las fuerzas del mercado (oferta y demanda).

En los países en donde los fertilizantes líquidos son ampliamente utilizados, existe una vasta infraestructura para su manejo, transporte, almacenamiento y aplicación. En estos países prácticamente todo el UAN utilizado proviene de los complejos integrados de producción descritos en el párrafo anterior. Sin embargo, algunas plantas producen el fertilizante líquido

UAN partiendo de urea y nitrato de amonio sólidos, aprovechando lotes de estos productos a precios preferenciales o aprovechando el diferencial de precios entre el fertilizante líquido UAN y los productos sólidos.

En Guatemala, en donde no existen por el momento complejos de producción de urea o nitrato de amonio, sólo existen dos alternativas para el abastecimiento del fertilizante líquido UAN: 1) importarlo en forma líquida desde su origen en otros países, y 2) producirlo localmente a partir de urea y nitrato de amonio sólidos.

La primera alternativa requiere de una infraestructura para el transporte marítimo, recepción local y almacenamiento de líquidos a granel. Sólo con su manejo a granel en buques de alta capacidad de carga (en exceso de 15,000 Tm) podría competir el fertilizante líquido UAN importado de origen contra la urea y el nitrato de amonio en forma sólida. La planta productora de fertilizante líquido UAN más cercana a Guatemala se encuentra en el estado de Veracruz en México. El flete terrestre de dicha planta al mercado de Guatemala es muy alto en comparación con los que se obtienen en buques graneleros de alta capacidad de carga. De esta forma, el fertilizante líquido UAN importado por vía terrestre desde Veracruz, no logra competir con la urea y nitrato de amonio en forma sólida que se importan a Guatemala por la vía marítima en buques graneleros de alta capacidad de carga. Tal como se dijo, se requiere entonces de una vasta infraestructura para líquidos a granel para poder abastecerse del fertilizante líquido UAN en su forma líquida desde su origen en otros países. Para la empresa en que se realiza este proyecto, esto implicaría una gran inversión que incluso entraría a duplicar innecesariamente la que ya se tiene para el manejo de sólidos a granel.

LISTA DE EQUIPOS PR			
CODIGO	EQUIPO	CODIGO	EQUIPO
M 1	Mezclador (13,200 litros)	S 1	Transporte
C 1	Clarificador No. 1 (14,000 litros)	S 2	Transporte de NITR
C 2	Clarificador No. 2 (14,000 litros)	P 1	Bomba
C 3	Clarificador No. 3 (14,000 litros)	P 2	Bomba
C 4	Clarificador No. 4 (5,500 litros)	P 3	Bomba
C 5	Clarificador No. 5 (60,000 litros)	P 4	Bomba
T 1	Tanque de agua proceso (11,500 litros)	B 1	Caldera
T 2	Tanque de agua Caldera (750 litros)	F 1	Filtro
T 3	Tanque de Caldera (19,000 litros)	E 1	Eductor
T 4	Tanque de agua General (19,000 litros)	I 1	Injector
T 5	Tanque de Almacenamiento UAN (800,000 litros)	K 1	Compresor

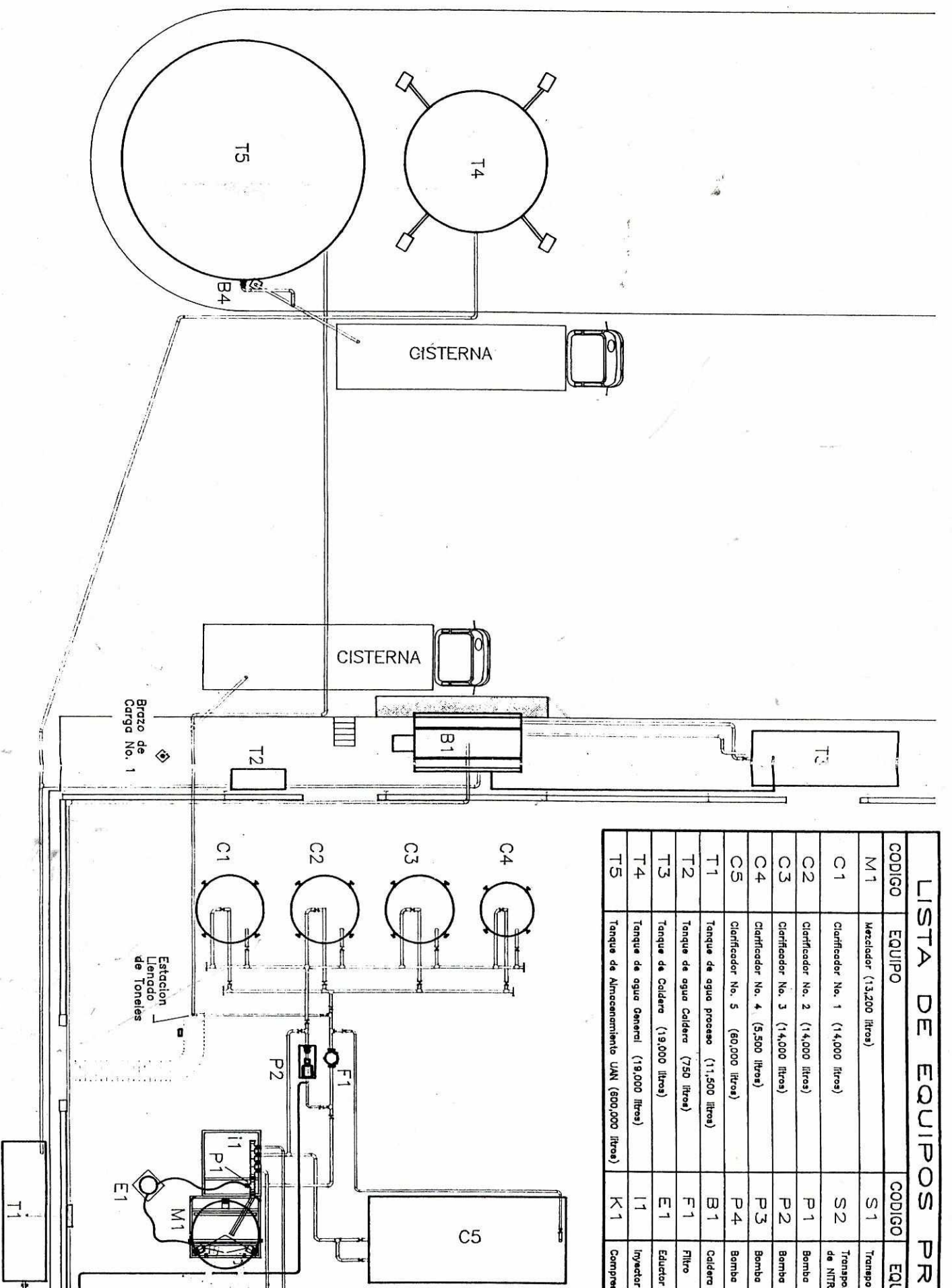


FIGURA 7.3.2 Diagrama de Distribucion de Equipo (Plant Layout)

La empresa en donde se realiza este proyecto, tal como ya se ha dicho, cuenta con una vasta y eficiente infraestructura de importación, descarga, manejo, transporte y almacenamiento de sólidos a granel. De aquí resulta lógico el optar por la segunda alternativa de abastecimiento del fertilizante líquido UAN ya que al producirlo a partir de urea y nitrato de amonio sólidos, se aprovecha esta amplia infraestructura que la empresa ya tiene. Tal como se dijo en la introducción, con esta estrategia de producción, la inversión que se necesita es muy modesta en comparación a la que ya se ha efectuado en infraestructura para graneles sólidos o la que se requeriría para la otra alternativa.

Otra ventaja importante de la estrategia de abastecimiento que se va a utilizar, radica en el hecho de que en el mercado internacional se pueden obtener lotes de urea y nitrato de amonio sólidos a precios considerablemente rebajados. Los materiales de estos lotes generalmente no cumplen especificaciones granulométricas por ser muy finos, o se exceden sobre el máximo contenido permisible de humedad, o simplemente no contienen la concentración standard de nutrientes. Cuando los materiales son muy finos en granulometría y/o tienen un alto contenido de humedad, los gránulos del producto se apelmazan, perdiéndose la fluidez del producto para su transporte, manejo y aplicación. Sin embargo, el material de estos lotes se encuentra en perfectas condiciones para su utilización en la producción del fertilizante líquido UAN. En otras palabras, la calidad de estos materiales, expresada mediante los parámetros normalmente utilizados para los productos en forma sólida, es irrelevante en cuanto a sus propiedades en su utilización para producir el fertilizante líquido UAN. Bien es cierto que el transporte y manejo del material se dificulta e incrementa en su costo al utilizar estos materiales sólidos fuera de especificaciones. Sin embargo, generalmente el ahorro en el costo por unidad de nutriente por el precio rebajado en que se obtienen los sólidos fuera de especificaciones, compensa sobradamente los incrementos en el costo de manejo. Por lo

tanto, el uso de estos sólidos fuera de especificaciones resulta en ahorros significativos en el costo de producción del fertilizante líquido UAN.

CONCEPTOS BASICOS DE FISICOQUIMICA, COMPOSICION EUTECTICA:

a) Solvación, Soluciones Electrolíticas:

Los cristales iónicos con frecuencia se disuelven en solventes que puedan tener una asociación electrostática con los iones. En estos casos, se dice que el líquido está compuesto de moléculas polares que son capaces de asociarse con los iones que rompen los cristales por "solvación". Cuando un cristal iónico se ha disuelto, la solución consiste en una distribución de iones soportados por el solvente. Esto se conoce como una "solución electrolítica". Estas soluciones conducen la electricidad porque los iones pueden migrar bajo la influencia de un campo eléctrico. [1]

Las moléculas no-iónicas con frecuencia se disuelven en solventes no-polares o débilmente polares, formando "soluciones no-electrolíticas". Un ejemplo típico es tolueno disuelto en benceno. La disolución procede eficazmente si el solvente y el soluto tienen estructuras similares ya que de esta forma la energía de las moléculas del soluto en el líquido puro o sólido es aproximadamente igual a su energía cuando se encuentra rodeado de moléculas de solvente. [1]

b) Concentración y Actividad:

En las soluciones extremadamente diluidas, los cationes y aniones no tienen interacciones significativas ya que están muy lejos entre sí. Sin embargo, en tanto se vaya incrementando la concentración, los cationes positivos tienden a congregarse cerca de los

aniones negativos, y viceversa. Esto tiene efecto en modificar la conductividad de los iones y su habilidad en tomar parte en reacciones. En vez de hablar en términos de concentración de iones, se hace más significativo hablar en términos de su concentración efectiva o "actividad". El concepto de actividad es de gran aplicación en la fisicoquímica. [1]

A las más altas concentraciones, puede ser insuficiente el solvente para solvar los iones y mantenerlos apartados. En estos casos se precipita la sal.

c) Concentración y Molalidad:

Mientras que el término "concentración" denota la cantidad de sustancia dividido por el volumen de solución, el término "molalidad" denota la cantidad de sustancia dividido por la masa de solvente. Es importante notar que la concentración depende de la temperatura mientras que la molalidad no. [1]

d) Composición Eutéctica:

Se dice que una mezcla líquida se encuentra en su "composición eutéctica" cuando ésta se solidifica a la más baja temperatura de toda posible mezcla (o en sentido contrario, que se fusiona a la temperatura más baja). La palabra "eutéctica" proviene del griego para "fácilmente fusionado". La composición eutéctica es también la mezcla que se solidifica (o se fusiona) sin cambio alguno en composición. Cuando la composición no es la eutéctica, asumiendo encontrarse en la fase líquida, al descender la temperatura eventualmente se empezarán a precipitar unos componentes mas que otros. El fenómeno de "composición eutéctica" en

transiciones sólido-líquido es similar al del fenómeno "azeotrópico" en transiciones líquido-vapor. [1]

SOLUBILIDAD, CALOR DE SOLUCION, TEMPERATURA DE PRECIPITACION Y TIEMPO DE MEZCLADO:

a) Determinación del Calor Ganado o Perdido:

$$Q = m c_p (t_1 - t_2) \quad \text{en donde:}$$

Q = calor ganado o perdido, en kJ

m = masa, en kg

c_p = calor específico a presión constante, en KJ/kg °C

t_1 = temperatura inicial, en °C

t_2 = temperatura final, en °C

b) Calor de Solución:

El calor de solución es el calor que se requiere o que se produce cuando se disuelve un determinado material en agua. Si el material produce calor al disolverse, se dice que éste tiene un calor de solución positivo. Si el material necesita calor para disolverse se dice que éste tiene calor de solución negativo.

c) Calor Específico a Presión Constante:

El calor específico de un material es la cantidad de calor que se requiere para variar, para una cierta unidad de masa, un determinado diferencial de temperatura. Se expresa comúnmente en KJ/ kg °C .

d) Disolución de Sólidos con Calores Solución Negativo:

El factor más importante cuando se desea disolver un sólido con calor de solución negativo (tal como la urea y el nitrato de amonio) es conocer el valor de la temperatura de cristalización de la solución resultante. Una vez se conoce este valor, se puede determinar la temperatura que se requiere para el agua de tal forma que se logre una "disolución inmediata" del sólido en procesos continuos. Además, conociendo el valor de la temperatura de cristalización, se pueden hacer cálculos para estimar el tiempo de mezclado en un proceso lote para una determinada temperatura de agua. [3]

e) Determinación de la Temperatura de Agua para Disolución Inmediata:

El siguiente ejemplo ilustra el método:

Ejemplo 2.5.1: determinar la temperatura que se requiere para la disolución inmediata de urea para producir una solución con 18% de nitrógeno, asumiendo los siguientes datos:

Temperatura de precipitación	= -2 °C
Calor de solución de la urea	= 221 kJ/kg
Calor específico a presión cte. del agua	= 4.19 kJ/kg °C
Formulación	
Agua	= 609 kg/Tm
Urea (46% N)	= 391 kg/Tm

La cantidad de calor requerido para disolver la urea es la cantidad por tonelada de urea multiplicado por el calor de solución negativo de la urea (221 kJ/kg): $391 \text{ kg/Tm} \times 221 \text{ kJ/kg} = 86,411 \text{ kJ/Tm}$

Para la inmediata disolución en agua, los 609 kg/Tm de agua deben suministrar los 86,411 kJ y dejar la temperatura de la solución final arriba de $-2 \text{ }^\circ\text{C}$. La temperatura de agua mínima que se requiere se calcula de la siguiente manera:

$$t_1 = Q/(m c_p) + t_2$$

$$t_1 = (86,411 \text{ kJ/Tm}) / ((609 \text{ kg/Tm})(4.19 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C})) + (-2 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$t_1 = 33.9 \text{ }^\circ\text{C} - 2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_1 = 31.9 \text{ }^\circ\text{C}$$

En un proceso lote, la disolución inmediata no se requiere ya que se permite un cierto tiempo de mezclado. Por consiguiente, la temperatura de agua que se requeriría sería menor a los $31.9 \text{ }^\circ\text{C}$ que se requieren para disolución inmediata. [3]

- f) Determinación del Tiempo de Mezclado Requerido para Disolver Sólidos a una Determinada Temperatura de Agua:

El tiempo de mezclado que se requiere para disolver sólidos a una determinada temperatura de agua es necesario para calcular la capacidad de producción. Si la temperatura ambiental es superior a la temperatura de cristalización de la solución final, los sólidos se disolverán eventualmente; sin embargo, ésto puede tomar un tiempo excesivo. El tiempo es una función de la temperatura inicial del agua, temperatura ambiental, nivel de agitación, temperatura de la solución final. Si la cantidad de calor necesaria para disolver el sólido es mayor que el calor suministrado por el agua, la solución tendrá que mezclarse hasta que la temperatura de la solución se encuentre unos $1.5 - 3.0 \text{ }^\circ\text{C}$ arriba de la temperatura de

precipitación. Mientras más alta se encuentre la temperatura de la solución sobre la temperatura de precipitación, más rápido se disolverán los sólidos. [3]

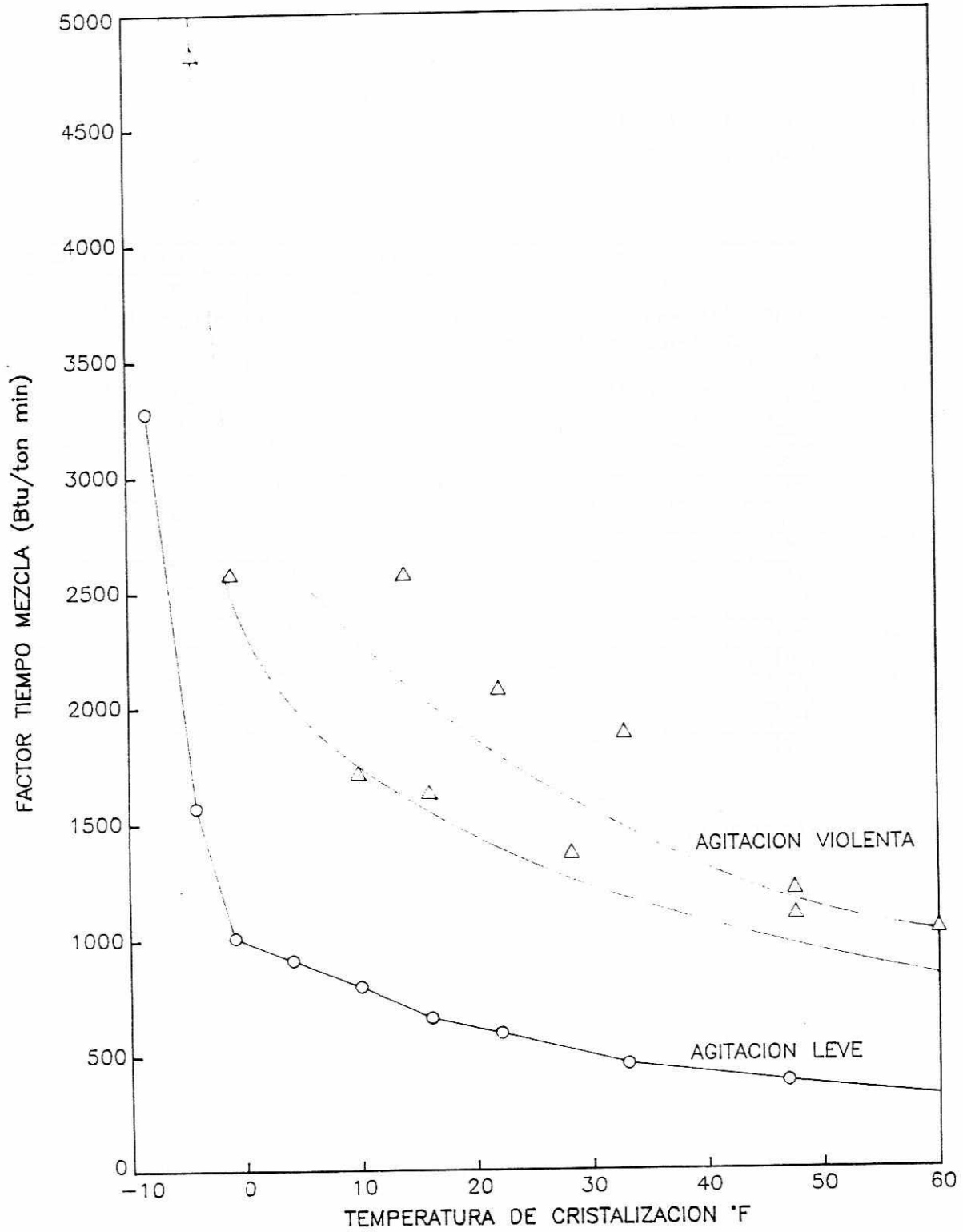
Para predecir el tiempo de mezclado que se requiere para disolver sólidos a una determinada temperatura de agua, se han desarrollado factores de tiempo-mezcla. Este factor de tiempo-mezcla depende en parte de la temperatura de cristalización de la solución final. Además, debe considerarse que la relación área de superficie húmeda : volumen de solución, disminuye en la medida que se incrementa el tamaño del lote. Esto afecta la tasa de transferencia de calor del medio ambiente hacia la solución de tal forma que a mayor tamaño de lote, menor es esta tasa de transferencia de calor desde el aire del ambiente. [3]

Los factores tiempo-mezcla, como función de la temperatura de cristalización y para una temperatura del aire de 21 °C, se presentan en la Tabla 2.5.1. Los datos de esta tabla se muestran en la Gráfica 2.5.1. Puede notarse en esta figura que los datos para agitación leve presentan una buena correlación mientras que los datos para agitación violenta no presentan una buena correlación. Los datos de agitación leve corresponden a flujo laminar en la mezcla mientras que los de agitación violenta corresponden a flujo turbulento en la mezcla. El estado de flujo laminar o flujo turbulento en la mezcla dependerá de una serie de factores: el tipo de agitador, el tamaño del agitador, el posicionamiento del agitador en relación al tanque mezclador, y la velocidad de rotación del agitador. Se traza una curva intermedia que es un compromiso entre las curvas de agitación leve y agitación violenta. Esta curva intermedia es la que se utilizará para los cálculos en este proyecto. La Tabla 2.5.2 se origina en la curva intermedia, y se utiliza como una referencia rápida para el cálculo de los factores de tiempo-mezcla basados en la temperatura de precipitación. El siguiente ejemplo ilustra cómo se utilizan estos factores de tiempo-mezcla:

TABLA 2.5.1
FACTORES DE TIEMPO-MEZCLA COMO FUNCION
DE LA TEMPERATURA DE CRISTALIZACION

N % p/p	Fuente	Temperatura de Cristalización, °C	Agitación Leve		Agitación Violenta	
			Tiempo mezclado minutos	Factor tiempo-mezcla kJ/min Tm	Tiempo Mezclado Minutos	Factor tiempo-mezcla kJ/min Tm
15	Urea	-12	10	949	4,75	1,996
17	Urea	-6	58	702	17	2,395
19	Urea	1	125	545	31	2,198
21	Urea	8	220	442	75	1,295
23	Urea	16			105	1,174
15	NA	-16	35	1,080		
17	NA	-9	93	763	37	1,917
24	UAN	-22	20	3,821	9	8,493
26	UAN	-20	49	1,828	16	5,596
28	UAN	-18	85	1,188	33	3,060
30	UAN	-10			40	2,974
32	UAN	-2			72	1,583
34	UAN	8			85	1,408

Fuente: Kachelman, 1989 [3]



GRAFICA 2.5.1 FACTOR TIEMPO MEZCLA COMO FUNCION DE TEMPERATURA DE CRISTALIZACION

Fuente: Kachelman, 1989 [3]

TABLA 2.5.2
 ESTIMACION DE FACTORES DE TIEMPO-MEZCLA
 PARA VARIAS TEMPERATURAS DE CRISTALIZACION

Temperatura de Cristalización, °C			Factor de Tiempo-Mezcla kJ/min Tm
-22	a	-21	5,813
-21	a	-19	3,604
-19	a	-18	2,907
-17	a	-16	2,558
-16	a	-14	2,325
-14	a	-13	2,151
-12	a	-11	1,976
-11	a	-9	1,860
-9	a	-8	1,773
-7	a	-6	1,686
-6	a	-4	1,616
-4	a	-3	1,546
-2	a	-1	1,477
-1	a	1	1,407
1	a	2	1,337
3	a	4	1,267
4	a	6	1,209
6	a	7	1,163
8	a	9	1,128
9	a	11	1,093
11	a	12	1,058
13	a	14	1,023
14	a	16	988

Fuente: Kachelman, 1989 [3]

Ejemplo 2.5.2: Determinar el tiempo de mezclado estimado para producir una solución de urea al 18% de nitrógeno considerando los siguientes datos:

Temperatura de cristalización	=	-2 °C
Calor de solución de la urea	=	221 kJ/kg
Calor específico del agua	=	4.19 kJ/kg °C
Temperatura del agua	=	10 °C
Formulación		
Agua	=	609 kg/Tm
Urea (46% N)	=	391 kg/Tm

La cantidad de calor requerida para disolver la urea es la cantidad de urea por tonelada multiplicada por el calor de solución de la urea:

$$391 \text{ kg/Tm} \times 221 \text{ kJ/kg} = 86,411 \text{ kJ/Tm}$$

Como la temperatura de cristalización es de -2 °C y la temperatura del agua es 10 °C, el agua suplirá parte del calor necesario para disolver la urea. Esta cantidad de calor se calcula de la siguiente manera:

$$Q = mc_p (t_1 - t_2)$$

$$Q = 609 \text{ kg/Tm} \times 4.19 \text{ kJ/kg °C} \times (10 \text{ °C} - (-2 \text{ °C}))$$

$$Q = 30,621 \text{ kJ/Tm}$$

El resto del calor necesario para disolver la urea que tendrá que venir del aire del ambiente es:

$$86,411 \text{ kJ/Tm} - 30,621 \text{ kJ/Tm} = 55,790 \text{ kJ/Tm}$$

El factor de tiempo-mezcla estimado para esta solución (temperatura de cristalización de $-2 \text{ }^{\circ}\text{C}$) de la Tabla 2.5.2 es de $1,477 \text{ kJ/min Tm}$ (en la tabla $1,270 \text{ Btu/min ton}$). Por lo tanto, el tiempo de mezclado sería:

$$(55,790 \text{ kJ/Tm}) / (1,477 \text{ kJ/min Tm}) = 38 \text{ minutos [3]}$$

g) Utilización de Vapor de Agua para Suministrar parte del Calor Requerido:

En muchos casos, si se desea un tiempo de lote más rápido de lo que las condiciones ambientales y del proceso lo permiten, puede agregarse vapor de agua a la mezcla para suplir parte del calor requerido. El calor suplido por el vapor corresponde al calor latente de vaporización más el calor correspondiente del agua a la temperatura de vaporización.

COORDENADAS TRIANGULARES EQUILATERAS:

Las "coordenadas triangulares equiláteras" se usan extensivamente en la bibliografía química para expresar gráficamente sistemas ternarios (aquellos con tres componentes). A continuación se transcribe textualmente a Treybal (1980) para ilustrar el uso e interpretación de los diagramas triangulares.

“Una de las propiedades de un triángulo rectángulo es que la suma de las distancias perpendiculares desde cualquier punto dentro del triángulo hasta cualquiera de los tres lados, es igual a la altura del triángulo. Por lo tanto, sea la altura la composición al 100% y las distancias a los tres lados los porcentajes o fracciones de los tres componentes. Véase en la Gráfica 2.6.1 que cada vértice representa uno de los componentes puros, tal como está señalado. La distancia perpendicular desde cualquier punto, como K a la base AB, representa el porcentaje de C en la mezcla K; la distancia a la base AC, el porcentaje de B; la distancia a la base CB, el porcentaje de A. Entonces $X_K = 0.4$. Cualquier punto sobre un lado del triángulo representa una mezcla binaria. Por ejemplo, el punto D es una mezcla binaria que contiene 80% de A y 20% de B. Todos los puntos sobre la línea DC representan mezclas que contienen la misma relación de A a B y pueden considerarse como mezclas originalmente en D, al cual se le agrega C. Si R kg de una mezcla en el punto R se agregan a E kg de una mezcla en E, la nueva mezcla se muestra sobre la línea recta RE en el punto M, tal que

$$R/E = \text{línea ME} / \text{línea RM} = (X_E - X_M) / (X_M - X_R)$$

En forma alternativa, la composición correspondiente al punto M puede calcularse mediante balances de materia como se mostrará posteriormente. En forma similar, si de una mezcla en M se separa una mezcla de composición E, la nueva mezcla está sobre la línea recta EM, que se extiende alejándose de E y que está ubicada en R de forma que se aplica la ecuación anterior.

La ecuación anterior se establece fácilmente. Obsérvese la Gráfica 2.6.2, que muestra nuevamente R kg de mezcla en R agregados a E kg de mezcla E. Sea M los kg de la nueva mezcla, así como la composición sobre la figura. Línea RL = fracción peso de C en R = X_R ;

línea MO = fracción peso de C en M = X_M y línea ET = fracción peso de C en E = X_E . Un balance total de materia,

$$R + E = M$$

Un balance para el componente C,

$$R(\text{línea RL}) + E(\text{línea ET}) = M(\text{línea MO})$$

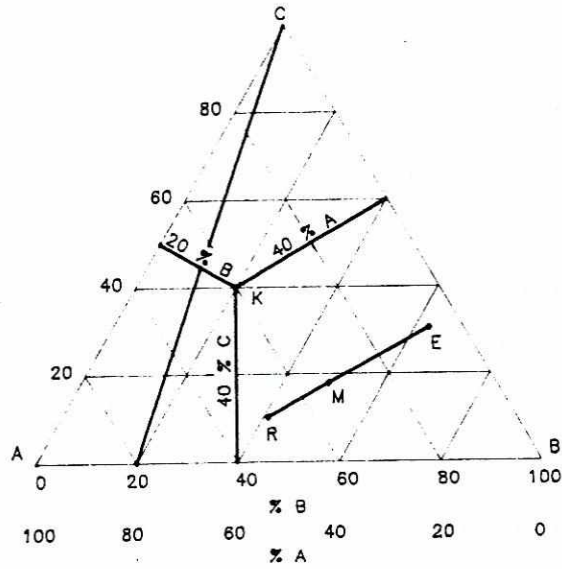
$$RX_R + EX_E = MX_M$$

Eliminando M,

$$R/E = (\text{líneaET} - \text{líneaMO}) / (\text{líneaMO} - \text{líneaRL}) = (X_E - X_M) / (X_M - X_R)$$

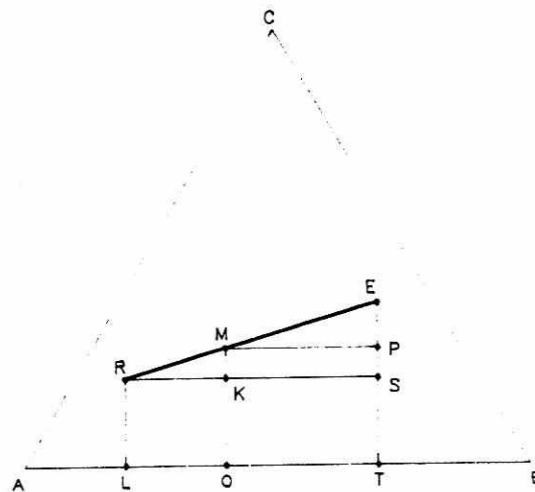
Peró $\text{líneaET} - \text{líneaMO} = \text{líneaEP}$, y $\text{líneaMO} - \text{líneaRL} = \text{líneaMK} = \text{líneaPS}$

Por lo tanto $R/E = \text{líneaEP} / \text{líneaPS} = \text{líneaME} / \text{líneaRM}$



GRAFICA 2.6.1 COORDENADAS TRIANGULARES EQUILATERAS

Fuente: Treybal, 1980 [6]



GRAFICA 2.6.2 LA REGLA DE MEZCLADO

Fuente: Treybal, 1980 [6]

SOLUCIONES DE UREA Y NITRATO DE AMONIO:

Las soluciones de urea y nitrato de amonio (UAN) en su uso como fertilizantes líquidos normalmente contienen un 28-32% de nitrógeno. La relación del contenido de urea al contenido de nitrato de amonio normalmente se establece de tal forma que se minimice la temperatura de cristalización.

La Gráfica 2.7.1 presenta el sistema de solubilidad para la urea, nitrato de amonio y agua. La temperatura de cristalización para una solución con cualquier relación de nitrato de amonio a urea puede determinarse utilizando el diagrama de esta Gráfica. Los porcentajes de agua se marcan con las líneas horizontales. El tope del triángulo corresponde a 100% agua. Los porcentajes de urea se marcan con las líneas diagonales desde la base hacia el lado izquierdo del triángulo, en donde se localiza la línea correspondiente al 100% de urea. Los porcentajes de nitrato de amonio se marcan con las líneas diagonales desde la base hacia el lado derecho del triángulo, en donde se encuentra la línea correspondiente al 100% de nitrato de amonio. De esta forma, el eje izquierdo es para soluciones conteniendo solamente agua y urea, mientras que el eje derecho es para soluciones conteniendo solamente agua y nitrato de amonio. Las curvas (isotermos) dibujadas como líneas sólidas indican la temperatura de precipitación de varias concentraciones de soluciones UAN. Las líneas cortas punteadas (líneas eutécticas) que dividen el área dentro del triángulo en tres partes o fronteras de fase que se identifican de acuerdo al tipo de cristal que se precipitará para las concentraciones que caen en esas áreas. Además, se dibujan líneas punteadas para concentraciones de nitrógeno de 20,25,30,35 y 40%.

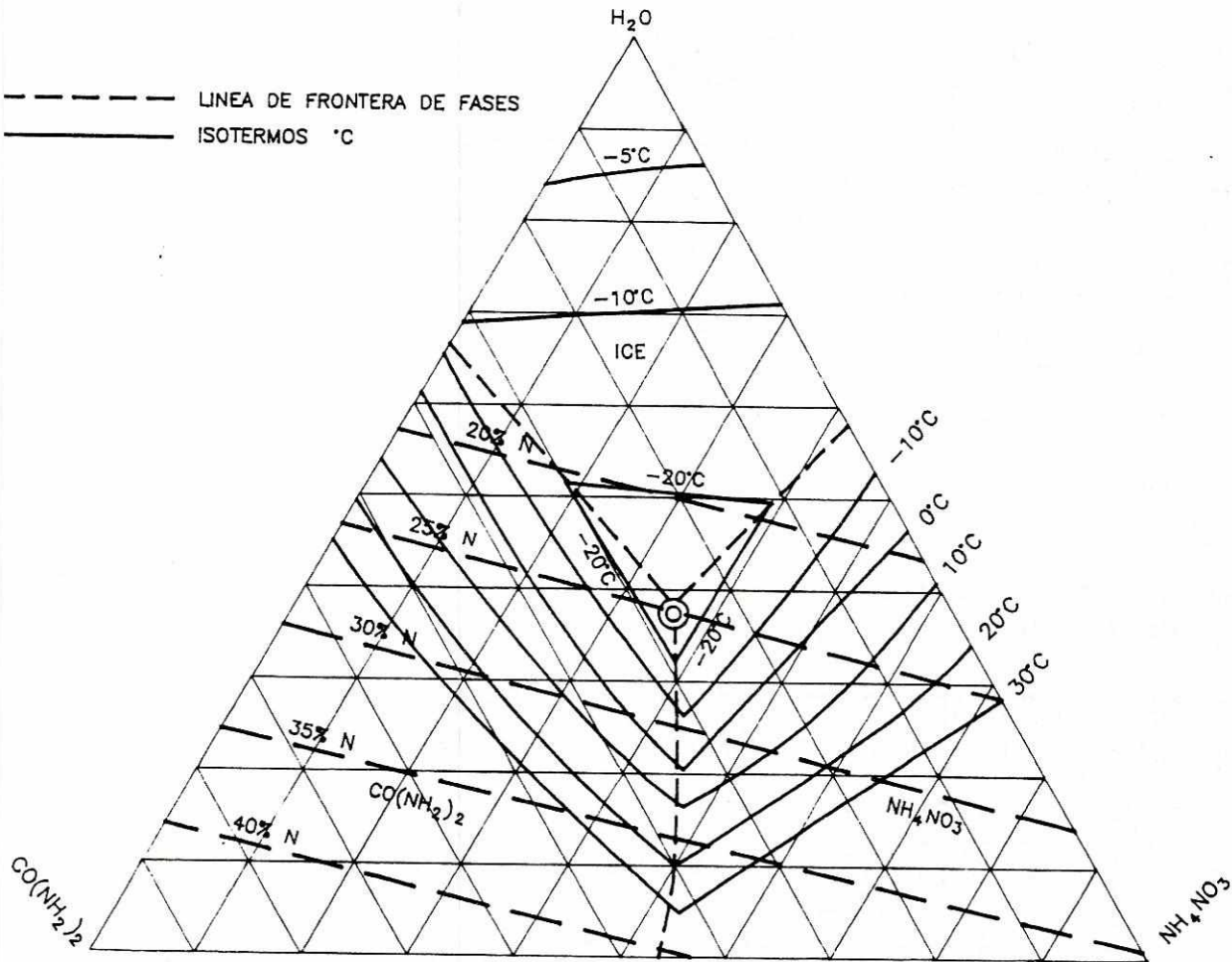
[3]

En la Tabla 2.7.1 se listan las formulaciones, temperaturas de cristalización, y pesos específicos a 15°C para soluciones de UAN en un rango de concentración de 24 a 34% de nitrógeno. Las relaciones de urea a nitrato de amonio se escogieron de tal forma que se obtuviera la menor temperatura de cristalización posible (composición eutéctica).

La Tabla 2.7.2 muestra las formulaciones, tiempos de mezclado, calor requerido, y otros datos para la producción de soluciones de UAN conteniendo de 24 a 34% de nitrógeno partiendo de urea sólida (46% N) y nitrato de amonio sólido (34% N). Las relaciones urea: nitrato de amonio se establecieron de tal forma que se minimice la temperatura de cristalización.

En el siguiente ejemplo se muestra cómo se predice el tiempo de mezclado de un lote de solución de UAN bajo ciertas condiciones.

Ejemplo 2.7.1 : Determinar el tiempo de mezclado para una solución de UAN con 28% de nitrógeno hecha a partir de urea sólida y nitrato de amonio sólido con agua a 15 °C.



GRAFICA 2.7.1 SISTEMA DE SOLUBILIDAD PARA UREA,
 NITRATO DE AMONIO Y AGUA
 Fuente: Kachelman, 1989 [3]

TABLA 2.7.1
PROPIEDADES DE SOLUCIONES DE UREA Y NITRATO DE AMONIO

N % p/p	Urea % p/p	Nitrato/A % p/p	Agua % p/p	Temperatura de Cristalización, °C	Peso Específico a 15 °C
24	25.8	34.3	39.9	-22	1.237
26	27.9	37.2	34.9	-20	1.257
28	30.0	40.1	29.9	-18	1.283
30	32.7	42.2	25.1	-10	1.303
32	35.4	44.3	20.3	-2	1.320
34	38.0	46.5	15.5	8	1.340

Nota: la urea se asume al 46.66% de nitrógeno y el nitrato de amonio al 35%

Fuente: Kachelman, 1989 [3]

TABLA 2.7.2
PROPIEDADES DE LAS SOLUCIONES DE UAN FABRICADAS
A PARTIR DE UREA Y NITRATO DE AMONIO SOLIDOS

N % p/p	Urea kg/Tm	N/Amonio kg/Tm	Agua kg/Tm	Temperatura de Cristalización, °C	Calor Requerido, kJ/Tm
24	261	353	386	-22	128,492
26	283	383	335	-20	131,532
28	305	413	283	-18	134,469
30	332	435	234	-10	138,483
32	360	456	185	-2	123,444
34	386	479	136	8	120,609

Nota: se asume urea con 46% de nitrógeno y nitrato de amonio con 34% de nitrógeno

Fuente: Kachelman, 1989 [3]

Primero nos referimos a la Tabla 2.7.2 para obtener la temperatura de cristalización para esta concentración. La temperatura de cristalización es de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Como la temperatura del agua es superior a la temperatura de cristalización, el agua suplirá parte del calor requerido. Se calcula entonces el calor que el agua suplirá:

$$Q = mc_p (t_1 - t_2)$$

$$Q = 283 \text{ kg/Tm} \times 4.19 \text{ kJ/kg } ^{\circ}\text{C} \times (15\text{ }^{\circ}\text{C} - (-17\text{ }^{\circ}\text{C}))$$

$$Q = 37,945 \text{ kJ/Tm}$$

De la Tabla 2.4.2 encontramos que el calor total requerido es de $134,469 \text{ kJ/Tm}$ por lo que calculamos el resto del calor que se requerirá:

$$134,469 \text{ kJ/Tm} - 37,945 \text{ kJ/Tm} = 96,524 \text{ kJ/Tm}$$

El tiempo de mezclado se calcula utilizando el factor tiempo-mezcla de la Tabla 2.7.2 ($2,907 \text{ kJ/min Tm}$ o $2,500 \text{ Btu/min ton}$) de la siguiente forma:

$$(96,524 \text{ kJ/Tm}) / (2,907 \text{ kJ/min Tm}) = 33 \text{ minutos}$$

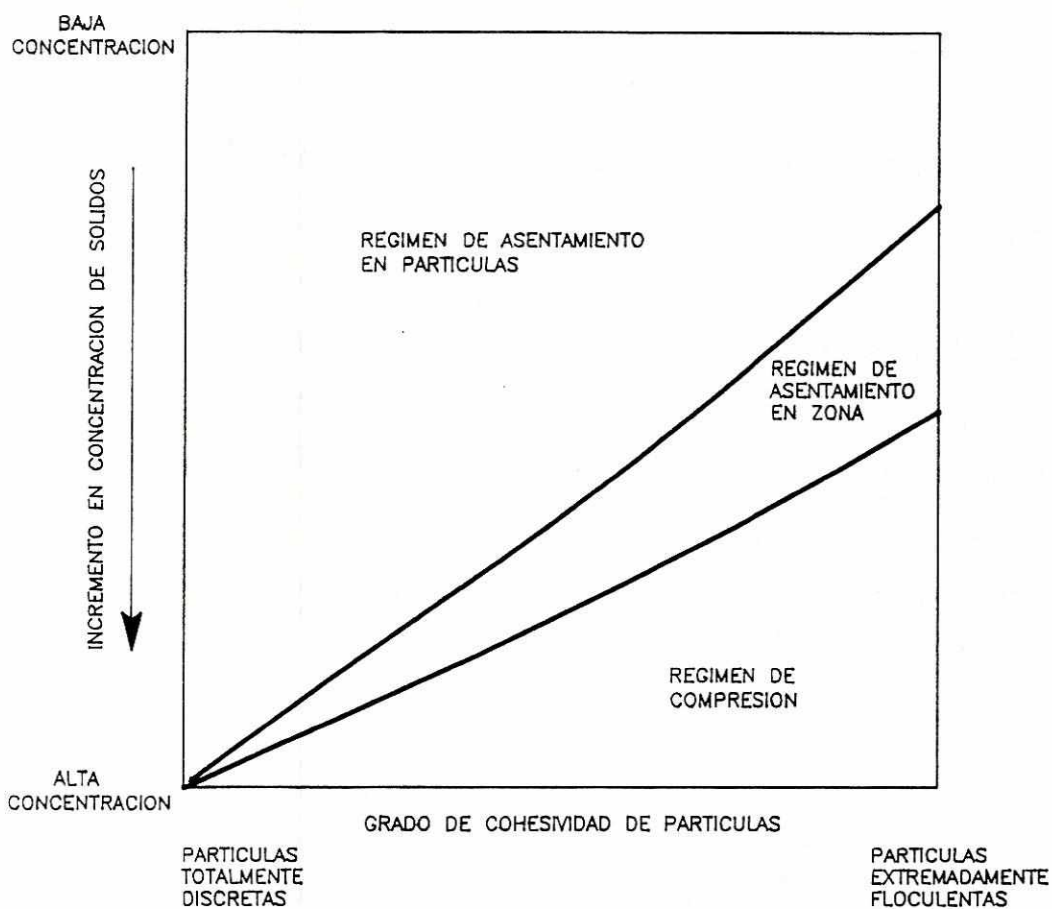
SEDIMENTACION POR GRAVEDAD, CLARIFICACION:

Sedimentación se define como el proceso de separar o concentrar partículas sólidas suspendidas en un líquido mediante la fuerza de gravedad. Cuando el objetivo es remover las partículas sólidas suspendidas para obtener un afluyente claro, el proceso se conoce como

clarificación. Los equipos de clarificación contemplan accesorios y cualidades que permiten una total remoción de los sólidos en suspensión. [4]

El tipo de sedimentación dependerá de factores como el tamaño de partícula, viscosidad del líquido, densidad del sólido y de la solución, así como de las propias características de las partículas en el lodo. Todas estas propiedades, además de los propios requerimientos del proceso, permiten identificar el tipo de equipo que se hace necesario para lograr los objetivos. En la Gráfica 2.8.1 se ilustra la relación entre la concentración de sólidos, cohesividad interpartículas, y el tipo de sedimentación que puede existir. Las "partículas totalmente discretas" incluyen muchas partículas minerales (usualmente con diámetros mayores a 20 μm), sales cristales, y sustancias similares con poca tendencia a la cohesión. Las "partículas extremadamente flocculentas" generalmente incluyen aquellas con diámetros menores a 20 μm , hidróxidos metálicos, muchos precipitados químicos, y la mayoría de las sustancias orgánicas con excepción de algunos coloides. [4]

A bajas concentraciones, la sedimentación se da a través del asentamiento de las partículas individuales. En estos casos, sin importar su naturaleza, las partículas se encuentran lo suficientemente separadas para que se asienten libremente. Las partículas de asentamiento mas rápido pueden chocar con otras de asentamiento más lentas. Si hay cohesividad se forman flóculos de un mayor diámetro que se asentarán a una velocidad más rápida que la de las partículas individuales. Sin no hay cohesividad, las partículas continuarán hacia abajo a su velocidad propia. [4]



GRAFICA 2.8.1 EFECTOS DE LA COHESIVIDAD DE LAS PARTICULAS Y CONCENTRACION DE SOLIDOS EN LAS CARACTERISTICAS DE ASENTAMIENTO DE UNA SUSPENSION

Fuente: Miller, et.al, 1984 [4]

Existe una transición gradual entre el régimen de asentamiento de partículas individuales hacia el régimen de asentamiento en zona. En el régimen en zona, el asentamiento de las partículas ocurre en masa. En estos casos, el asentamiento de la masa se da en función de la concentración de los sólidos. [4]

La concentración de sólidos finalmente llegará a un nivel en el cual el descenso de las partículas es restringido por las fuerzas hidrodinámicas y parcialmente por el soporte mecánico de las partículas debajo. Esto implica que el peso de las partículas en contacto mutuo puede influir la velocidad de sedimentación de las partículas en los niveles bajos. Esta compresión, resultará en una mayor concentración de sólidos gracias a la compactación de los flocos individuales y al llenado de los vacíos inter-flocos por medio de los flocos deformados. De esta forma, la velocidad de sedimentación en este régimen de concentración es una función tanto de la concentración de sólidos como de la profundidad de la pulpa en la zona particular. [4]

En los procesos industriales, en la medida que se incrementa la concentración de sólidos a través del proceso de sedimentación, es común que se pase a través de uno o más de los regímenes de sedimentación descritos anteriormente. Esto determinará los requerimientos de equipo de sedimentación sobre la base de los requerimientos del proceso. [4]

CONTROL DE LA CORROSION:

Aunque hay una cierta tendencia al uso de plásticos novedosos gracias a los avances de la química de polímeros, una gran parte de los equipos de proceso, almacenamiento y transporte y aplicación están hechos de metales que van desde acero al carbón hasta acero inoxidable de diferentes tipos. Siendo los fertilizantes fluidos altamente corrosivos, el control de la corrosión se convierte en un aspecto muy importante en la industria de fertilizantes fluidos.

La utilización de acero inoxidable en vez de acero al carbón en los equipos de uso extensivo prolonga la vida de los mismos gracias a la mejor resistencia que el acero inoxidable tiene a la corrosión. Sin embargo, en cualquier caso se recomienda el uso de inhibidores de la corrosión. Estos inhibidores no eliminan totalmente la corrosión sino que únicamente la mitigan.

En la industria se utiliza una amplia gama de inhibidores de la corrosión. El inhibidor se selecciona primero de acuerdo a el(los) fluido(s) que se manejará(n). Cuando se manejan soluciones UAN típicamente se utilizan amoníaco y fosfatos como inhibidores cuando hay contacto con acero al carbón. Estos inhibidores tienen la ventaja de que son económicos, aceptables ambientalmente y a un alcance fácil. Con el amoníaco se eleva el pH de la solución al rango de 7 a 7.5 en donde el efecto de la corrosión se minimiza. Los fosfatos forman una capa protectora de fosfato de hierro sobre la superficie metálica del tanque o equipo. Cuando se utiliza amoníaco, ésta se agrega a la solución hasta alcanzar el pH deseado entre 7 y 7.5. Los fosfatos amónicos se usan a concentraciones de 0.05 a 0.2% de P₂O₅. Existen también inhibidores comerciales como el "Corblok" y el "Sul-Fon-Ate". [3]

En la sección 7.10 se encontrarán los resultados de una investigación más profunda en este tema llegándose a seleccionar el agente de control de la corrosión a utilizarse en el proceso.

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PRODUCTO, CONTROL DE CALIDAD:

a) ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PRODUCTO:

En la Tabla 2.10.1 se muestra la hoja de especificaciones técnicas del fertilizante líquido nitrogenado UAN. Se incluyen sus propiedades físicas y químicas incluyendo la concentración de nitrógeno en sus diferentes formas: nítrico, amoniacal, uréico.

b) MUESTREO:

Las muestras normalmente se toman de los tanques de almacenamiento o de las líneas hacia o desde estos tanques. Como estas soluciones no tienen presión de vapor, no es necesario diluirlas en agua en el momento de recolección. Las muestras se depositan en recipientes de plástico que han sido enjuagados plenamente con agua limpia.

Los tanques de productos se muestrean ya sea de una línea de recirculación luego de una adecuada recirculación, o bien se toman muestras de varios puntos del tanque para luego analizarlas por separado para asegurarse que el contenido del tanque está mezclado homogéneamente.

TABLA 2.10.1

HOJA DE ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PRODUCTO

FERTILIZANTE LIQUIDO NITROGENADO UAN 32% N

Nombre químico:	No aplica (Mezcla).
Naturaleza química:	Solución acuosa de Urea y Nitrato de Amonio
Fórmula química:	No aplica (Mezcla).
Fórmula N-P-K:	32-00-00
Código de Bruselas:	3102.8

Presentación comercial:

Líquido transparente no presurizado. A granel.

Propiedades y constantes físicas (1):

Estado físico, a presión atmosférica y 20°C.	Líquido
Gravedad específica, a 20 °C	1.32
Punto de cristalización	-2 °C

Especificaciones de Calidad:

	Análisis Garantizado	Análisis Típico (2)
Nitrógeno Total (N), % en peso	32.0 ± 0.4	32.0
Nitrógeno Urea (N), % en peso	16.6 ± 0.4	16.6
Nitrógeno Nítrico (N), % en peso	7.7 ± 0.4	7.7
Nitrógeno Amoniacal (N), % en peso	7.7 ± 0.4	7.7
Amoníaco libre (NH ₃), % en peso	0.1 máximo	0.1
Agua (H ₂ O), % en peso	-----	18.0
PH, unidades	-----	6-7

En el mercado se encuentran ampliamente los muestreadores de zona. Estos son cilindros de acero inoxidable con válvulas en el tope y en la base. La presión del líquido contra el muestreador descendente causa que ambas válvulas se abran, permitiendo que la solución pase a través del cilindro. Cuando el instrumento se detiene a cualquier nivel, las válvulas se cierran, entrapando una muestra del nivel recorrido. Luego se sube el cilindro y se saca del tanque para que la muestra se recolecte abriendo la válvula de la base depositando el líquido en un recipiente limpio. [2]

b) ANALISIS:

Siendo las soluciones de UAN normalmente la mezcla eutéctica de urea y nitrato de amonio disueltos en agua, es importante conocer no sólo la concentración total de nitrógeno sino también la relación de urea a nitrato de amonio. El contenido de amoníaco libre también es de importancia. Tradicionalmente, los laboratorios de las plantas de UAN calculan el nitrógeno total sumando las partes de nitrógeno en sus diferentes formas.

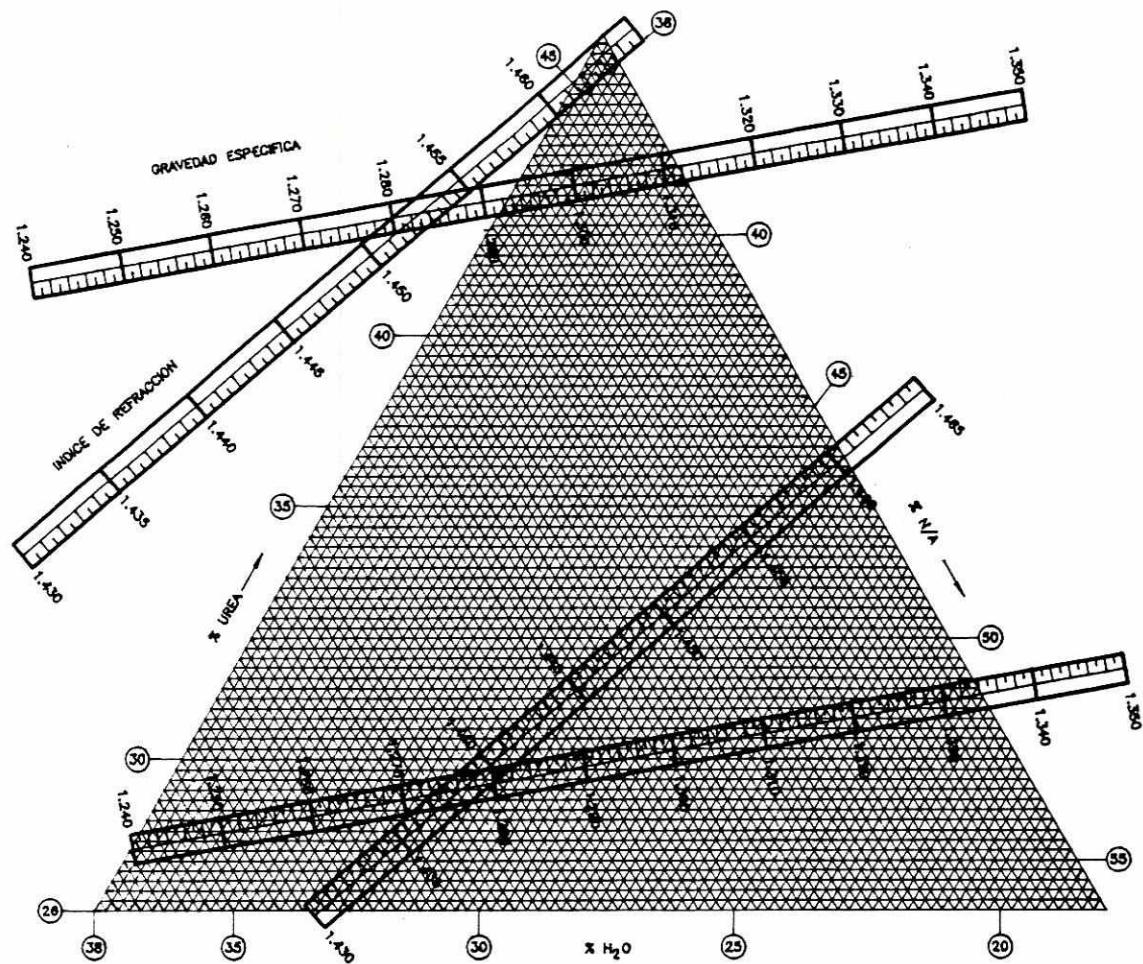
El contenido de urea puede determinarse utilizando la enzima ureasa para hidrolizar la urea a amoníaco y luego titular la amoníaco con ácido estándar de acuerdo al método AOAC 959.03. El contenido de nitrato de amonio puede determinarse mediante el tratamiento de una muestra con formaldehído y luego titular con una base de acuerdo a AOAC 920.04. Estos métodos consumen bastante tiempo y han sido reemplazados en muchos casos por procedimientos más veloces y exactos. [2]

Se han desarrollado una serie de instrumentos capaces de medir el total de nitrógeno en líquidos homogéneos tal como las soluciones de UAN. Estos equipos modernos tienen la ventaja de ser bastante rápidos pero con la desventaja de que solo dan el nitrógeno total.

Otro método que sí permite conocer tanto el nitrógeno total como la relación urea: nitrato de amonio mediante la medición de dos propiedades físicas ha sido desarrollado por "Canadian Industries Ltd.". Este método se basa en que si la relación urea:nitrato de amonio permanece constante, y asumiendo que sólo una pequeña cantidad de amoníaco libre está presente, existe una relación directa entre el peso específico y la cantidad de nitrógeno presente. En la realidad, esta relación varía por lo que es necesario conocer la cantidad de cada ingrediente

para poder controlar el proceso. Se encontró que el índice de refracción de la solución varía en proporción a la relación de urea a nitrato de amonio. De esta forma, mediante la determinación tanto del peso específico como del índice de refracción, se puede conocer con precisión tanto el contenido de nitrógeno como la relación de urea a nitrato de amonio. Se utiliza un diagrama para obtener el porcentaje total de nitrógeno y la relación de urea a nitrato de amonio, sobre la base del peso específico y el índice de refracción. En la Gráfica 2.10.1 se muestra el diagrama que se utiliza. También es posible hacer un programa de cómputo sencillo que brinde los mismos resultados de una forma más rápida. [2]

Normalmente se analiza también para el contenido de amoníaco libre. El contenido de amoníaco libre normalmente es menor a 1000 ppm, y la tendencia para las especificaciones de muchos productos es un máximo de 500 ppm. Se puede utilizar un método sencillo que consiste en titular una muestra de la solución con exceso de solución 0.5 N de ácido sulfúrico y luego titular de regreso con solución 0,25 N de NaOH utilizando metil rojo como indicador. [2]



GRAFICA 2.10.1 ANALISIS DE SOLUCIONES NITROGENADAS A 30°C.

Fuente: Johnson y Huber, 1991 [2]

III. JUSTIFICACION

Actualmente en Guatemala los agricultores no disponen de fertilizantes líquidos a precios competitivos con los fertilizantes sólidos que tradicionalmente han dominado el mercado de fertilizantes en el país. Esto ha impedido que se aprovechen las ventajas tecnológicas que los fertilizantes líquidos tienen en comparación con los fertilizantes sólidos en ciertas aplicaciones. Estas ventajas tecnológicas comprenden ventajas en manejo, transporte y distribución así como ventajas en la eficiencia agronómica del fertilizante y sinergia en aplicación combinada con otros insumos agrícolas.

El fertilizante UAN es un líquido que se maneja tan fácilmente como el agua. No necesita manejarse bajo presión, no representa problemas de seguridad industrial, no es peligrosamente tóxico. Quizá su única diferencia práctica con el agua es que es considerablemente más denso (peso específico alrededor de 1.32) que el agua y también más corrosivo. Su facilidad de manejo le da muchas ventajas sobre los fertilizantes nitrogenados sólidos, que son más difíciles de manejar, especialmente porque son altamente higroscópicos. Cuando lo comparamos con el amoníaco anhidro en este sentido, nos encontramos con un escenario todavía más a favor del UAN al considerar la diversidad de complicaciones que implica el manejo y transporte del amoníaco anhidro. Gracias a una concentración de nitrógeno relativamente alta, el fertilizante líquido UAN con 32% de nitrógeno, se transporta económicamente en comparación con los fertilizantes nitrogenados sólidos típicos (urea con 46% de nitrógeno y nitrato de amonio con 34% de nitrógeno). El amoníaco anhidro es mucho más concentrado (aproximadamente 80% de nitrógeno) pero su costo de transporte por unidad de nitrógeno es casi igual al de los

fertilizantes sólidos debido a que el amoníaco anhidro debe manejarse y transportarse bajo presión, lo que incrementa los costos y riesgos.

El fertilizante líquido nitrogenado UAN tiene un mercado natural en aquellos lugares en donde se utilizan sistemas de irrigación. El fertilizante UAN se mezcla perfectamente con el agua de irrigación, ahorrándose el costo de aplicación de fertilizante. Esta práctica agrícola se conoce como fertirrigación. El UAN se aplica perfectamente en ciertas técnicas más especializadas como lo son el riego por goteo y cultivos hidropónicos. En Guatemala existen muchos segmentos agrícolas que utilizan sistemas de irrigación que serán beneficiados con la oferta del fertilizante líquido UAN a condiciones de precio competitivas con las de los fertilizantes nitrogenados sólidos tradicionales (urea y nitrato de amonio). Los sistemas de irrigación están plenamente difundidos en importantes cultivos como lo son el de banano, melón, mango y otras frutas, verduras y ornamentales.

El fertilizante líquido nitrogenado UAN puede mezclarse con toda una gama de fertilizantes líquidos además de toda una variedad de productos fitosanitarios. Esto simplemente no es posible con el amoníaco anhidro. Los fertilizantes nitrogenados sólidos también pueden mezclarse con toda una gama de fertilizantes sólidos pero no pueden mezclarse con una gran variedad de productos fitosanitarios. Esto se debe a que la mayoría de productos fitosanitarios se aplican en forma líquida. En los países desarrollados, es típico que los productos fitosanitarios se apliquen en mezcla con fertilizantes líquidos. De esta forma se ahorra en el costo de aplicación de los insumos. Además, en ciertos casos para ciertos productos fitosanitarios, la presencia del fertilizante mejora el efecto del producto fitosanitario.

IV. OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES:

- Construir planta de producción y almacenamiento de fertilizante líquido nitrogenado (UAN)
- Producir lo mas económicamente posible el fertilizante líquido nitrogenado UAN, utilizando urea y nitrato de amonio en forma sólida como materias primas y vapor para suministrar el calor de disolución necesario.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- a) Determinar la estrategia de abastecimiento y producción a utilizar.
- b) Efectuar estudio técnico de la tecnología de producción de acuerdo a la estrategia de abastecimiento y producción seleccionada.
- c) Realización de la ingeniería y diseño de la planta.
- d) Ejecutar pedidos, construcción y montaje de equipo.
- e) Efectuar pruebas y puesta en marcha de la planta.
- f) Optimizar económicamente los parámetros claves del proceso tales como la cantidad de vapor alimentada, el tiempo de disolución/mezcla, y la mano de obra utilizada en producción.

V. PROBLEMA A RESOLVER

En el mercado de fertilizantes, los agricultores guatemaltecos actualmente no encuentran disponibles fertilizantes líquidos a precios competitivos con los fertilizantes sólidos que tradicionalmente han dominado el mercado. El agricultor se ve forzado a pagar precios muy altos por los fertilizantes líquidos o se abstiene de usarlos perdiendo las ventajas correspondientes. En cualquiera de los casos el agricultor está perdiendo la oportunidad de ser más productivo y de mejorar sus prácticas de manejo del cultivo.

En algunos casos, la necesidad de los fertilizantes líquidos es tan grande, y los precios de éstos en el mercado son tan altos, que algunos agricultores han recurrido a intentos de disolver por su cuenta fertilizantes sólidos en agua para luego aplicarlos como líquidos. Esto se puede lograr sólo con algunos fertilizantes sólidos, dependiendo de su pureza, solubilidad, recubrimientos en las partículas, etc.

La mayoría de los agricultores simplemente se han acostumbrado a utilizar los fertilizantes sólidos para suministrar los requerimientos nutricionales principales de los cultivos, aplicándolos al suelo a través de diferentes técnicas (al voleo, incorporado, en banda, etc.). En los cultivos en donde no se utiliza irrigación, el uso de fertilizantes líquidos generalmente se ha orientado a aplicaciones suplementarias foliares (aplicadas al follaje). Sin embargo, pretender suplir la mayor parte de los nutrientes por medio de estos fertilizantes líquidos es económicamente prohibitivo. Por lo tanto, para suministrar la mayor parte de los requerimientos nutricionales de sus cultivos, los agricultores simplemente se han visto obligados a utilizar los fertilizantes sólidos que se encuentran en el mercado a precios mucho más

competitivos por unidad de nutriente. Esto ha resultado en la pérdida de una serie de oportunidades tecnológicas agrícolas que están ligadas al uso de fertilizantes líquidos. Como ya se dijo, estas oportunidades tecnológicas comprenden ventajas en el manejo, transporte y distribución así como, en ciertos casos, ventajas en la eficiencia nutricional del fertilizante líquido y ventajas en sinergia por aplicación en combinación con otros insumos agrícolas (productos fitosanitarios como herbicidas, fungicidas, etc.).

En aquellos lugares en donde se utilizan sistemas de irrigación, y especialmente en aquellos en donde el agua sea muy escasa, se hace muy conveniente y hasta imperativo el suministrar los nutrientes (fertilizantes) a través del sistema de irrigación. Esto obliga a que se utilicen fertilizantes fluidos o bien fertilizantes sólidos de alta solubilidad. Estos fertilizantes, como ya se dijo, o no se encuentran en el mercado o su costo es sumamente alto. Además, la utilización de fertilizantes sólidos, aunque sean de alta solubilidad, le complica la situación al agricultor que no siempre tiene el equipo necesario para disolver efectivamente estos fertilizantes sólidos. Esto puede resultar en costos altos de operación o incluso problemas de taponamiento del sistema de irrigación derivados de impurezas no solubles presentes en el fertilizante sólido. La situación para los fertilizantes nitrogenados es incluso peor ya que para disolver urea y/o nitrato de amonio, se requiere de equipo especializado de muy alto costo para el agricultor, tal como el que se utilizará en este proyecto. Esto obliga a que el agricultor recurra a comprar fertilizantes nitrogenados líquidos importados a precios muy altos o a limitarse en sus prácticas de fertilización y de manejo del cultivo.

VI METODOLOGIA

- a) Estudio de mercado
- b) Determinación de la estrategia de abastecimiento y producción
- c) Estudio técnico de la tecnología de producción
- d) Ingeniería y diseño de la planta
- e) Cotizaciones y órdenes de pedido para equipo de proceso
- f) Construcción de equipo en taller de la empresa
- g) Montaje del equipo e instalación de la planta
- h) Efectuar pruebas iniciales en la planta
- i) Optimizar económicamente los parámetros claves del proceso

VII RESULTADOS

Estudio de Mercado de Fertilizantes Nitrogenados en Guatemala:

Se realizó un estudio básico de mercado utilizando información existente en la empresa. El mercado objetivo es el mismo que la empresa suministra actualmente con fertilizantes nitrogenados sólidos. El fertilizante líquido nitrogenado UAN-32 vendrá a reemplazar el uso de los fertilizantes nitrogenados sólidos de acuerdo a sus ventajas en ciertas aplicaciones. En las dos siguientes Tablas se dimensiona el mercado objetivo mediante el dimensionamiento del segmento de fertilizantes nitrogenados sólidos y luego convirtiendo los valores de este mercado a valores de UAN-32 en base a contenido de nitrógeno.

En la Tabla 7.1.1 se cuantifica el mercado potencial de fertilizantes nitrogenados partiendo del área sembrada por cultivo para llegar hasta el equivalente teórico de UAN-32. Como mercado potencial se entiende el mercado que incluye las áreas de cultivo tecnificadas en donde se aplican fertilizantes normalmente así como las áreas no tecnificadas en donde tradicionalmente no se ha aplicado fertilizante alguno. Nótese que en esta tabla sólo se incluye la demanda de fertilizantes nitrogenados aplicados directamente y no así la demanda de nitrógeno en las aplicaciones de fertilizantes completos. Las cifras de áreas por cultivo corresponden a 1997.

En la Tabla 7.1.2 se cuantifica el mercado actual de fertilizantes nitrogenados partiendo del área sembrada por cultivo y se llega hasta el equivalente teórico de UAN-32. Este es el

mercado que corresponde a las áreas de cultivo que están tecnificadas en donde se aplican fertilizantes normalmente. Estas cifras también corresponden a 1997.

Sobre la base de la información en las Tablas anteriores, se realizó una proyección de las dimensiones del mercado objetivo a cinco años, de 1998 a 2002. Esta proyección se muestra en la Tabla 7.1.3 y corresponde a las áreas tecnificadas de cada cultivo en donde normalmente se usan fertilizantes.

En la Tabla 7.1.4 se proyecta la participación del UAN-32 en el mercado de fertilizantes nitrogenados para el mismo período 1998-2002. Esta participación será el resultado de los esfuerzos de mercadeo y ventas que emprenderá la empresa al finalizar la construcción de la planta de UAN. La participación se expresa como porcentaje del mercado de fertilizantes nitrogenados.

Las Tablas 7.1.3 y 7.1.4 se combinan en la Tabla 7.1.5 y resulta en una proyección del mercado de UAN-32 en Guatemala para el mismo período 1998-2002. Nótese que las cifras de estas proyecciones se expresan en kilolitros (klt). Esta información servirá de base para el diseño de la planta del fertilizante líquido nitrogenado UAN.

TABLA 7.1.1

MERCADO POTENCIAL DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EN GUATEMALA
1997

CULTIVO	Area Total ** Ha	Aplicación Anual * KgN/Ha	Equivalente UAN-32 lt/Ha	Total UAN-32 klt	Total UAN-32 TM
Caña	148,000	150	355	52,547	69,363
Café	210,000	120	284	59,648	78,736
Maíz	67,000	110	260	17,445	23,027
Sorgo	40,000	60	142	5,681	7,499
Banano	15,000	110	260	3,906	5,155
Melón	2,400	20	47	114	150
Ornamentales	1,000	45	107	107	141
TOTAL=				139,447	184,070

* Se incluye únicamente el Nitrógeno aplicado en fertilización de nitrógeno individual.
No incluye el nitrógeno que se aplica en los fertilizantes completos.

** Fuente: información interna de Grupo Disagro

TABLA 7.1.2

MERCADO ACTUAL DE FERTILIZANTES NITROGENADOS EN GUATEMALA
1997

CULTIVO	Area Fertilizada ** Ha	Aplicación Anual * KgN/Ha	Equivalente UAN-32 lt/Ha	Total UAN-32 klt	Total UAN-32 TM
Caña	130,000	150	355	46,157	60,927
Café	190,000	120	284	53,968	71,237
Maíz	60,000	110	260	15,622	20,621
Sorgo	40,000	60	142	5,681	7,499
Banano	15,000	110	260	3,906	5,155
Melón	2,400	20	47	114	150
Ornamentales	1,000	45	107	107	141
TOTAL=				125,553	165,730

* Se incluye únicamente el Nitrógeno aplicado en fertilización de nitrógeno individual.
No incluye el nitrógeno que se aplica en los fertilizantes completos.

TABLA 7.1.3
PROYECCION DE MERCADO OBJETIVO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS *
 1998 - 2002

CULTIVO	Area Fertilizada año 1998 Ha	Area Fertilizada Año 1999 Ha	Area Fertilizada año 2000 Ha	Area Fertilizada año 2001 Ha	Area Fertilizada año 2002 Ha
Caña	130,000	140,500	151,500	159,075	164,643
Café	190,000	190,000	190,000	190,000	190,000
Maíz	60,000	63,000	66,000	63,000	66,000
Sorgo	40,000	42,000	42,000	42,000	42,000
Banano	15,000	17,000	20,000	21,000	21,735
Melón	2,400	2,700	3,000	3,150	3,260
Ornamentales	1,000	1,100	1,250	1,313	1,358

* Las areas corresponden a aquellas que están tecnificadas y utilizan fertilizantes normalmente

**Fuente: información interna de Grupo Disagro

TABLA 7.1.4
PROYECCION DE PARTICIPACION DEL UAN EN EL MERCADO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS
 1998 - 2002

CULTIVO	Participación año 1998 %	Participación Año 1999 %	Participación año 2000 %	Participación año 2001 %	Participación año 2002 %
Caña	4.0%	8.0%	15.0%	20.0%	25.0%
Café	3.5%	7.0%	14.0%	17.0%	20.0%
Maíz	1.5%	4.0%	8.0%	10.0%	12.0%
Sorgo	1.5%	4.0%	8.0%	10.0%	12.0%
Banano	7.0%	15.0%	25.0%	30.0%	35.0%
Melón	9.0%	18.0%	35.0%	40.0%	45.0%
Ornamentales	14.0%	28.0%	50.0%	55.0%	60.0%

Fuente: información interna de Grupo Disagro

TABLA 7.1.5
PROYECCION DE MERCADO DE UAN EN GUATEMALA
 1998 – 2002

CULTIVO	Ventas año 1998 klt	Ventas Año 1999 klt	Ventas año 2000 klt	Ventas año 2001 klt	Ventas Año 2002 Klt
Caña	1,846	3,990	8,067	11,294	14,612
Café	1,889	3,777	7,554	9,173	10,792
Maíz	234	655	1,373	1,638	2,059
Sorgo	85	239	477	596	716
Banano	273	663	1,300	1,638	1,978
Melón	10	23	49	59	69
Ornamentales	15	33	67	77	87
TOTAL =	4,352	9,380	18,888	24,476	30,313

** Fuente: información interna de Grupo Disagro

Ubicación de la Planta, Almacenamiento de Materia Prima y Producto

Terminado:

Se decidió construir la planta en las instalaciones que la empresa ya tenía en las afueras de la Ciudad de Escuintla. La dirección exacta es: Km 55.5 carretera al Pacífico, Escuintla.

Se seleccionó este punto por varias razones, entre las más importantes:

- La cercanía a mercados objetivo claves tales como la caña de azúcar y banano, lo cual cobra una especial relevancia al considerar la logística de aplicación en campo.
- La holgura de capacidad de almacenaje de materias primas a granel existente en esta localidad de la empresa a raíz de la construcción, en otra localidad situada en las afueras de Puerto Quetzal, de una nueva planta de recepción y almacenamiento a granel. Además también se aprovecha, para ubicar el equipo de proceso, el espacio techado con piso, disponible en esta localidad.
- El posicionamiento en cuanto a la red de carreteras, lo cual permite que las materias primas se abastezcan tanto desde la costa del Pacífico (Puerto Quetzal) como de la costa del Atlántico (Puerto Santo Tomás de Castilla y Puerto Barrios) sin incurrir en fletes falsos o minimizando los mismos.

Las materias primas sólidas a granel se almacenan en compartimentos con capacidad aproximada de 250 Tm cada uno. La nave en donde se ubica la planta de UAN cuenta con un total de 19 de estos compartimentos para un total de aproximadamente 4,750 Tm de almacenaje de sólidos a granel. Estos compartimentos son alimentados por un sistema de recepción de graneles sólidos consistente en tolvas de recepción, transportadores inclinados de arrastre, y fajas transportadoras. El sistema de recepción es alimentado por las unidades de

transporte a granel provenientes de los Puertos de abastecimiento o de otras localidades de la empresa. Las unidades de transporte a granel son remolcadas con cabezales convencionales y básicamente consisten en un compartimento de almacenaje a granel sobre ruedas, con un dispositivo para la descarga del material transportado (de levante o de descarga por la parte inferior).

El producto terminado, o sea el UAN, se almacena en un tanque metálico con una capacidad de 600,000 litros el cual está colocado sobre el nivel del terreno en una posición ideal para el flujo de transporte en el despacho del producto y sin interferir con las otras operaciones que se realizan en esta localidad. Este tanque fue comprado a la empresa UNISOLA y estaba ubicado en su planta en Amatitlán. De este tanque se despacha directamente a unidades de transporte líquido a granel (cisternas).

Selección y Dimensionamiento del Equipo de Proceso, Diagrama de Distribución del Equipo (Plant Layout):

a) Selección del Equipo de Proceso:

En las secciones 2.2 y 2.3 de los antecedentes se discute la estrategia de producción y la tecnología de proceso utilizadas. De acuerdo a esta información, y para cumplir con las especificaciones técnicas del producto que se describen en la Tabla 2.10.1, se seleccionaron los siguientes equipos del proceso:

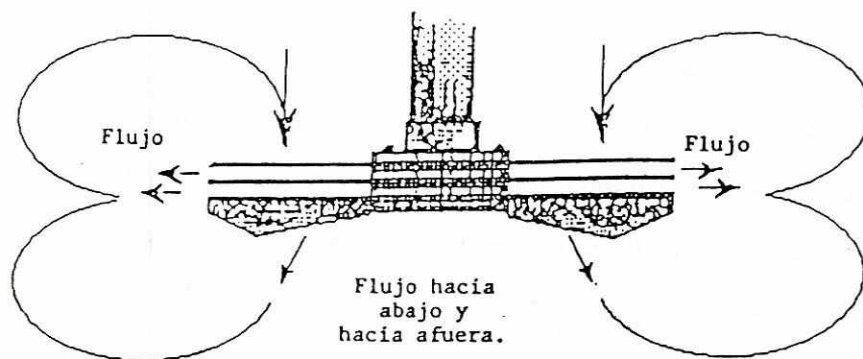
1. Mezclador con Agitador y Línea de Recirculación:

El mezclador es el equipo principal del proceso. Es aquí en donde se realiza la principal operación, es decir, la disolución de urea y nitrato de amonio en agua con ayuda de vapor. El mezclador cuenta con un agitador de disco especialmente diseñado para esta aplicación sólido-líquido, montado sobre un eje al centro del mezclador. Véase una ilustración de este agitador en la Figura 7.3.1. Este tipo de agitador reduce el requerimiento de potencia para lograr un alto esfuerzo cortante. Se produce una acción de bombeo que crea un vórtice hacia el tope de la cuchilla en el agitador. Las quías en la parte inferior fuerzan al producto de la parte inferior del tanque hacia la succión en la cuchilla. El material sólido pasa a través de la cuchilla y crean una acción de alto esfuerzo cortante que disuelve los gránulos rápidamente.

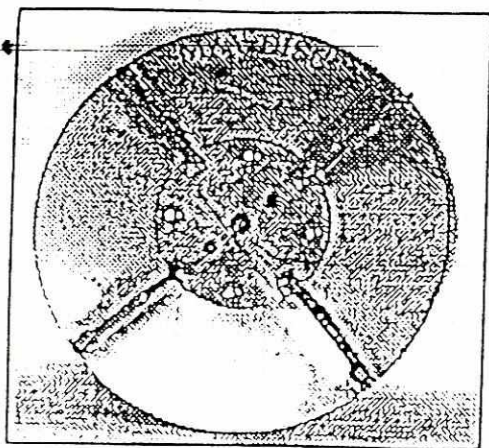
Adicionalmente, se incluye una línea de recirculación para mejorar el proceso de disolución y mezclado y además agregar a través de ella el vapor de agua para suplir el calor de disolución necesario en esta operación endotérmica. La línea de recirculación se toma de la parte inferior del mezclador y se regresa al mismo en una dirección tangencial al mezclador y en contra de la corriente generada por el agitador.

2. Inyector para Introducción de Vapor:

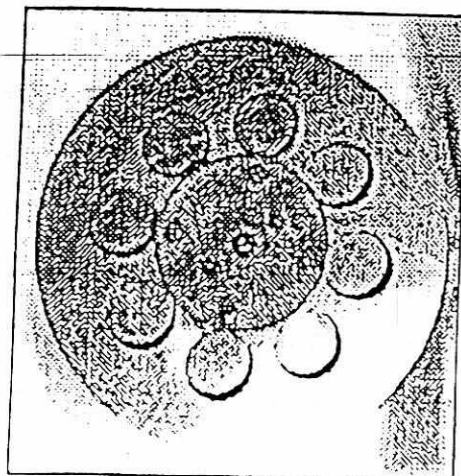
Para introducir el vapor a la mezcla se utiliza un inyector. Este equipo se instala sobre la línea de recirculación. En la parte interna del inyector se encuentra una reducción por medio de tubo y un plato de orificio que favorecen la absorción del vapor hacia la línea de recirculación mediante la generación de succión.



Flujo en el agitador.



Vista inferior.



Vista superior.

FIGURA 7.3.1 AGITADOR DE DISCO

Filtros y Clarificadores:

Al tomar en cuenta que en el proceso se introducen pequeñas cantidades de materiales foráneos no solubles que son indeseables en el producto terminado, se requiere de una operación que los reduzca a niveles aceptables. Parte de estos materiales foráneos son introducidos en las materias primas sólidas que se utilizan ya que éstas contienen pequeñas cantidades de aditivos orientados a mejorar su fluidez en el manejo y a reducir su apelmazamiento y generación de polvo. Además, las materias primas manejadas a granel introducen suciedad presente en los equipos de transporte, en el sistema de recepción, o en los compartimentos de almacenaje a granel. Asimismo, cuando se utilizan materias primas ensacadas (normalmente en sacos tejidos de polipropileno con bolsas internas de polietileno), se introducen al proceso pequeños pedazos del material de empaque.

Tomando en cuenta que la naturaleza del producto no hace necesario que el mismo se encuentre absolutamente limpio y que además las cantidades de material indeseable son relativamente bajas, se seleccionó una combinación de filtros primarios y unidades de sedimentación por gravedad (clarificadores) para remover estos contaminantes en el producto. La ventaja de estos equipos es que son fáciles de mantener y tienen costos de operación sumamente bajos.

El filtro utilizado contiene una canasta metálica perforada, en donde se retienen los materiales foráneos que tienen un tamaño mayor al de las perforaciones de la canasta. Las perforaciones de la canasta son de un diametro de aproximadamente 1.5 mm .

Para remover el material foráneo no disuelto con tamaños menores a los de las perforaciones de la canasta del filtro, se utilizan clarificadores en cascada. La primera etapa de clarificación se hará en varias unidades, cada una con capacidad cúbica aproximadamente igual o ligeramente mayor a la del tanque mezclador. La segunda etapa se hará en una sola unidad con una capacidad significativamente mayor. La mayor parte de los sólidos serán removidos en la primera etapa de clarificación.

3. Transportadores/Alimentadores de Materias Primas Sólidas a Granel:

La urea y nitrato de amonio sólidos, alimentan al tanque mezclador mediante un transportador de tornillo metálico que recibe el producto de una tolva almacenadora metálica para granel sólido. Esta tolva es alimentada mediante un cargador frontal rodante que reclama la materia prima del compartimento de almacenaje a granel. Se seleccionó el transportador de tornillo ya que éste es fácilmente controlable, por lo que se utiliza como sistema de dosificación de estas materias primas hacia el mezclador.

4. Sistema de Pesaje y Formulación:

El tanque del mezclador se encuentra montado sobre tres celdas de pesaje en el asiento de cada pata del tanque. Estas celdas envían su señal a una terminal indicadora montada en el panel de control del operador de formulación. En esta terminal se indica el peso acumulado que se ha agregado al mezclador, además de otras funciones como tara, memorias, etc. El agua de proceso se introduce a través de la tubería conectada al "manifold" del tanque mezclador y se

dosifica utilizando una válvula de mariposa accionada neumáticamente. Las materias primas sólidas se dosifican utilizando controles eléctricos que gobiernan los transportadores de tornillo. El vapor se dosifica a través de una válvula de mariposa especial accionada neumáticamente.

5. Sistema de Tratamiento de Agua de Caldera:

En la Tabla 7.5.1 en la sección 7.5 posterior se muestran los resultados del análisis efectuado al agua proveniente del pozo de la planta. Como se puede notar en esta Tabla, los resultados obtenidos indican que el agua es ligeramente dura. Además, se encuentra que el agua tiene una alta concentración de sílice (SiO_2), compuesto altamente incrustante en las superficies de transferencia de calor. Según se pudo constatar a través de consultas con diferentes empresas proveedoras de tratamiento químico de agua de calderas, toda la zona de Escuintla padece de este problema, posiblemente debido a la conformación volcánica del subsuelo.

La dureza total en el agua puede eliminarse fácilmente con un suavizador. Para la remoción de la sílice se requieren procesos más complejos, dos de los más recomendables son la desmineralización con intercambio iónico y la ósmosis inversa.

Se procedió a cotizar equipos de tratamiento de agua, tanto en empresas locales como internacionales, las cuales ofertaron equipos con los siguientes tipos de tecnologías: acondicionadores magnéticos, membranas de ósmosis inversa, desmineralizadores y suavizadores.

Se descartaron los equipos de ósmosis inversa tanto por el elevado rechazo de agua (para evitar depósitos de sílice en las membranas) como por su alto precio de adquisición.

Finalmente, se optó por seleccionar una combinación de un suavizador (resina catiónica suave) y un desmineralizador o removedor de sílice (con resina aniónica fuerte), para remover efectivamente tanto la dureza como la sílice.

b) Dimensionamiento del Equipo de Proceso:

El dimensionamiento del equipo se hizo basado en dos fundamentos: 1) la capacidad de producción del sistema en relación con el estudio de mercado de la sección 7.1, y 2) el tamaño óptimo de lote en el tanque mezclador.

De acuerdo a consultas con instituciones de investigación y desarrollo de fertilizantes tales como el "Centro Internacional para el Desarrollo de los Fertilizantes (IFDC por sus siglas en inglés); así como con fabricantes y proveedores de equipo para la industria de fertilizantes líquidos tal como "J. May Equipment Group Inc", se encontró que el tamaño óptimo de lote en los tanques mezcladores es entre 7,000 y 18,000 litros. Tomando en cuenta que la empresa ya contaba con una serie de tanques, y para el mejor aprovechamiento de los mismos, se optó por una capacidad de lote de 10,600 litros. Al tomar en cuenta que el tamaño de lote es de un 80% de la capacidad del tanque del mezclador, se deduce que el tanque mezclador tendrá una capacidad total de 13,250 litros.

El siguiente paso fue determinar el número de tanques mezcladores a utilizar sobre la base de los requerimientos de producción derivados del estudio de mercado. Una ventaja de

esta estructura de producción es que se puede comenzar con una capacidad de producción limitada, minimizando el riesgo en la inversión, para luego ir agregando mas tanques mezcladores gradualmente de acuerdo a la penetración en el mercado.

La capacidad del sistema de clarificación se dimensionó sobre la base de la capacidad y el número de tanques de mezclado. Sobre la base del tiempo de residencia de cada lote en el tanque mezclador y el tiempo de residencia de cada lote en el tanque clarificador, se estableció el número de clarificadores primarios y su respectiva capacidad cúbica.

La caldera para suministro de vapor se dimensionó sobre la base de los requerimientos de vapor de acuerdo a los parámetros del proceso y a los requerimientos endotérmicos de la reacción a llevar a cabo.

En la Tabla 7.3.1 se ejecutan todos los cálculos anteriormente mencionados, dimensionándose el número de tanques mezcladores con su respectiva capacidad cúbica, el número de tanques clarificadores con sus capacidades cúbicas respectivas, la capacidad de transporte de los transportadores de tornillo para materias primas sólidas, la capacidad térmica de la caldera, y otros parámetros del proceso. Nótese que al principio de esta tabla se relaciona la capacidad de producción del sistema con la proyección de mercado del UAN en Guatemala (extraído de la Tabla 7.1.5). Al final de este Informe se adjunta un anexo en donde se detallan los métodos de cálculo utilizados en la elaboración de la Tabla 7.3.1.

TABLA 7.3.1

DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO DE PROCESO

(nota: véase el anexo al final del Informe para un detalle de los métodos de cálculo utilizados)

CAPACIDAD DE PRODUCCION VS. MERCADO DE UAN

	año 1998 Klt	año 1999 Klt	año 2000 klt	año 2001 klt	año 2002 klt
Ventas	4,352	9,380	18,888	24,476	30,313
Capacidad Holgada de Producción*	19,152	19,152	19,152	19,152	19,152
Utilización de Capacidad Holgada	23%	49%	99%	128%	158%
Capacidad Instalada de Producción**	67,034	67,034	67,034	67,034	67,034
Utilización de Capacidad Instalada	6%	14%	28%	37%	45%

* operando 44 horas a la semana 50 semanas al año

** operando 22 horas diarias y 350 días al año

Tamaño del Lote	14,000 Kg
Densidad del UAN 32% N	1.32 kg/lit
Tamaño del Lote	10,606 Lt

FORMULACION DE UAN 32% N *

Componente	% p/p	Kg/lote	% N	kg N/lote
Agua	14%	1,960	0%	-
Urea	36%	5,096	46%	2,344
Nitrato de Amonio	46%	6,384	33.5%	2,139
Vapor de agua	4%	560	0%	-
Total	100%	14,000	32.0%	4,483

* esta formulación corresponde a la composición eutéctica, y se excluyen otros aditivos (colorante y agente de control los de la corrosión) que se utilizarán en en proceso y cuyas concentraciones son despreciables para propósitos de esta hoja de cálculo.

PAYLOADERS Y TOLVAS RECEPCION

Capacidad Tolva Urea	3.4 m ³
Capacidad Tolva N/Amonio	3.4 m ³
Capacidad Cucharón Cargador	1.5 m ³
Densidad en Bulto Urea	750 kg/m ³
Densidad en Bulto N/Amonio	1,100 Kg/m ³
Capacidad Tolva Urea	2,550 Kg de Urea
Capacidad Tolva N/Amonio	3,740 Kg de Nitrato de Amonio

Capacidad Cucharón Urea	1,125 Kg de Urea
Capacidad Cucharón N/amonio	1,650 Kg de Nitrato de Amonio
Veces llenado tolva Urea	2.0 Llenados tolva urea / lote
Veces llenado tolva N/Amonio	1.7 Llenados tolva nitrato amonio / lote
Veces llenado cucharón urea	4.5 Llenados cucharón urea / lote
Veces llenado cucharón n/amonio	3.9 Llenados cucharón nitrato amonio / lote
Total de cucharones	8.4 Cargadas de cucharón cargador/lote
Tiempo por cargada	2 Minutos
Tiempo de cargador frontal	16.8 Minutos/lote

TRANSPORTADOR DE TORNILLO, AGUA DE PROCESO Y VAPOR

Capacidad tornillo urea	1800 Kg/min
Capacidad tornillo n/amonio	1800 Kg/min
Capacidad alimentación agua	500 Kg/min
Capacidad alimentación vapor	200 Kg/min
Tiempo carga urea	2.83 Min/lote
Tiempo carga n/amonio	3.55 Min/lote
Tiempo carga agua proceso	3.92 Min/lote
Tiempo carga vapor	2.80 Min/lote
Tiempo de carga total	13.1 Min/lote

MEZCLADO (incluye la operación de vaciado)

Capacidad Cúbica del Mezclador	13,200 Lts	
Tamaño de lote en Mezclador	10,606 Lts/lote	
Utilización de Capacidad Cúbica	80.3%	
Tiempo de Residencia	60.0 Min/lote	
Capacidad de Mezclado	10.61 Klts/hr	
Tiempo de Mezclado Diario	8 Hr/dia	
Volumen de Mezclado Diario	85 Kl/dia	
Volumen de Mezclado Diario	4.9 Cisternas/dia	
Factor limitante- sistema de producción =		73.1 min/lote
Factor limitante- sistema de producción =		8.71 klts/hr
Capacidad Holgada (base 44 horas semanales, 50 semanas al año) =		19,152 klts/año
Capacidad Instalada (base 22 horas diarias, 350 dias al año) =		67,034 klts/año

CLARIFICACION PRIMARIA

Clarificador/Capacidad	14,000 Lts
# de Clarificadores	3.5
Clarificadores/Capacidad Total	49,000 Lts
Tiempo de Clarificación	4.5 Hr
Capacidad de Clarificación	10.89 klts/hr
Tiempo de Clarificación/lote	58.4 min/lote
Tiempo de Clarificación Diario	24 hr/dia

Volumen Clarificación Diario	261 klt/dia
Volumen Clarificación Diario	15.2 cisternas/dia

CLARIFICACION SECUNDARIA

Clarificador/Capacidad	60,000 Lts
# de Clarificadores	1
Clarificadores/Capacidad Total	60,000 Lts
Tiempo de Clarificación	5.5 Hr
Capacidad de Clarificación	10.91 klt/hr
Tiempo de Clarificación/lote	58.33 min/lote
Tiempo de Clarificación Diario	24 hr/dia
Volumen Clarificación Diario	262 klt/dia
Volumen Clarificación Diario	15.2 Cisternas/dia

DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO DE PROCESO

ALMACENAMIENTO

Tanque Almacenamiento	600,000 Lts
Tanque Almacenamiento	34.9 Cisternas

DESPACHO

Cisterna, Capacidad	17,200 lts/cisterna
Velocidad de Carga	2250 lts/min
Tiempo de Carga por Cisterna	7.6 min/cisterna
# de Cisternas por Hora	7.8 cisterna/hr
Horas de carga diarias	12 hr/dia
# de Cisternas diarias	94 cisterna/dia
Volumen de Carga Diario	1620 klt/dia

CALDERA

Calor requerido (de la Tabla 2.7.2)	123,444 kJ/Tm UAN
Calor requerido	162,946 kJ/klit UAN

Temperatura de Cristalización	-2 °C
Temperatura de agua de proceso	50 °C
Agua introducida	140 kg agua/Tm UAN
Calor proporcionado por el agua	40,264 KJ/Kit UAN

Calor necesario de vapor	122,682 KJ/Kit UAN		
Calor necesario de vapor	1,301,171 KJ/hr		
Temperatura ambiente	25 °C		
Calor para calentamiento de agua	24,197 KJ/Kit UAN	Factor de eficiencia =	80%
	256,638 KJ/hr		
Calor total del vapor	1,557,809 KJ/hr	Factor de eficiencia =	80%
Potencia de la Caldera	55 BHP		

c) Diagrama de Distribución del Equipo (Plant Layout)

En la Figura 7.3.2 se muestra el diagrama de distribución del equipo (plant layout) de la planta del UAN. La distribución del equipo se definió tomando en cuenta las necesidades actuales del proceso pero también previendo el crecimiento con la instalación de más unidades de producción así como la producción de fertilizantes líquidos completos (con dos o más nutrientes).

7.4 Listado General del Equipo de Proceso

Al inicio del proyecto ya se contaba con una buena cantidad de equipo de proceso que podría aprovecharse en su estado actual o bien mediante modificaciones y/o construcciones adicionales. Adicionalmente, se compró una gran variedad de equipo de proceso, tanto nuevo como usado. Esta sección se inicia con una descripción del equipo con el que ya se contaba y una descripción de las modificaciones y construcciones adicionales que se efectuaron a estos equipos ya existentes. La segunda parte de esta sección consiste de una lista del equipo que se compró.

a) Equipo Existente y Modificaciones/Construcciones:

Se contaba con tres tanques iguales, contruidos de lámina de acero inoxidable 304 de 4.8 mm ($\frac{3}{16}$ " de espesor; cada uno con un cono de 45° y capacidad de 22,200 litros. Asimismo, se disponía de otro tanque de acero inoxidable 304 construido de lámina de 3.2 mm ($\frac{1}{8}$ " de espesor, con cono de 25° y capacidad de 5,500 litros, el cual se utilizó como clarificador.

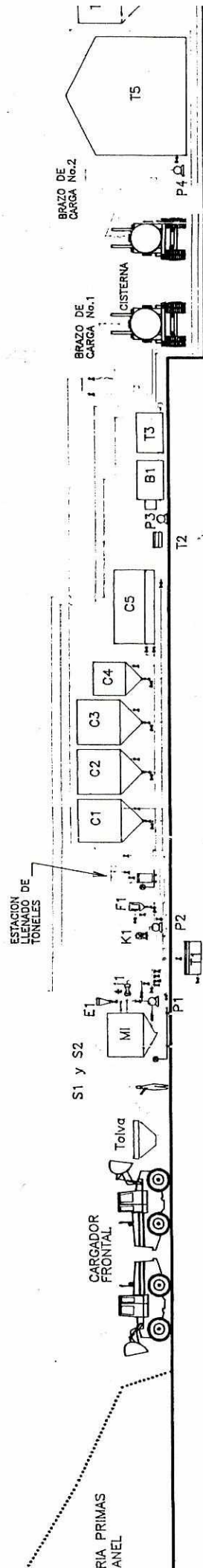
Adicionalmente se tenían 2 tanques horizontales de hierro negro, con capacidades de 11,500 y 60,000 litros; con espesores de lámina de 4.8 mm ($3/16$ "") y 6.4 mm ($1/4$ ""), respectivamente. El primero de éstos contaba con sus respectivas bases de metal y se destinó para calentar el agua de proceso, necesaria para la formulación del UAN-32.

Los primeros 3 tanques de acero inoxidable se modificaron (cortaron), para obtener 5, de los cuales 3 tanques se dejaron como clarificadores, cada uno con su cono original de 45° y con capacidad de 14,000 litros. A cada uno de estos 3 clarificadores se le soldaron 4 patas a 90°, utilizándose vigas H de 15 cm x 15 cm (6"x6"), 25#.

Los 2 cilindros restantes, se convirtieron en tanques mezcladores, para lo cual se les fabricó localmente un cono con ángulo de 30° en lámina de acero inoxidable 304, con espesor de 4.8 mm ($3/16$ ""), quedando finalmente cada uno con capacidad de 13,200 litros. A cada uno de estos mezcladores se le colocaron 3 patas, a 120° cada una, para utilizar 2 piezas de angulares de hierro de 10.2cm x 10.2cm x 6.4mm (4"x4"x $1/4$ ""), unidas para formar un tubo cuadrado. El segundo mezclador, no utilizado, se empleará en el futuro, ya sea para expandir la producción a una segunda línea, o para instalarlo en otra localidad de la empresa.

Las patas instaladas en los tanques clarificadores y mezcladores (de hierro negro), no se soldaron directamente a los mismos, sino que a platos aislantes de acero inoxidable, previamente soldados al cuerpo de los tanques, con el propósito de aislarlos de la soldadura y prevenir así el ataque corrosivo del producto por la aleación resultante.

Se fabricó también localmente una plataforma con el objeto de soportar el tanque mezclador, para lo cual se utilizó un tubo rectangular de hierro de 7.6cm x 12.7cm x 6.4mm



LISTA DE EQUIPOS PRINCIPALES		
CODIGO	EQUIPO	CODIGO EQUIPO
M1	Mezclador	S1 Transportador de Tornillo UREA
C1	Clarificador No. 1	S2 Transportador de Tornillo de NITRATO de AMONIO
C2	Clarificador No. 2	P1 Bomba Recirculacion
C3	Clarificador No. 3	P2 Bomba Transferencia
C4	Clarificador No. 4	P3 Bomba de Agua Caldera
C5	Clarificador No. 5	P4 Bomba Despacho
T1	Tanque de agua proceso	B1 Caldera
T2	Tanque de agua Caldera	F1 Filtro
T3	Tanque de Caldera	E1 Eductor
T4	Tanque de agua General	I1 Inyector Vapor
T5	Tanque de Almacenamiento UAN	K1 Compresor de Aire

FIGURA 2.2.1 Diagrama de Flujo del Proceso

(3"x5"x1/4"). Entre esta estructura y cada una de las 3 patas del mezclador, se instalaron celdas de pesaje, cuya capacidad es de 9,000 kg cada una.

Se fabricó también la base del tanque horizontal de 60,000 litros, el cual se utilizó como clarificador.

Respecto de los servicios, se fabricó tanto el "manifold" general de distribución de vapor, así como la fosa de purgas de la caldera de vapor, que consiste en un separador de agua-sólidos y vapor, de acción ciclónica. El material utilizado en ambos equipos fue hierro negro.

Asimismo, se fabricó una flauta difusora de vapor directo, la cual se instaló dentro del tanque de agua de proceso, para calentar la misma y evitar el choque directo con vapor, generalmente muy ruidoso.

b) Listado de Equipo de Proceso Comprado:

En la Tabla 7.4.1 a continuación se detalla el equipo que fue comprado a diferentes proveedores. La mayor parte de este equipo fue importado de los Estados Unidos de América.

Servicios de Agua y Electricidad , Obras Civiles

a) Suministro de Agua

Al considerar que el pozo previamente existente en la planta era de muy bajo caudal, debido a lo obsoleto de su diseño, se perforó otro, de mayor profundidad y capacidad. Para contener un flujo y presión constantes de agua, se construyó un tanque elevado de hierro, a 8 metros de altura, con capacidad de 19,000 litros y espesor de lámina de 4.8 mm ($\frac{3}{16}$ "). Este tanque suministra el agua utilizada en el proceso de producción de UAN-32, así como el agua de servicios múltiples de la planta (caldera de vapor, jardinería, oficinas administrativas, baños para el personal, etc.). La bomba sumergible en el pozo, de 5 HP y descarga de 5.1 cm (2"), es gobernada por la señal emanada por 2 guardaniveles, que controlan el nivel de agua en el tanque elevado, manteniendo de esta manera una presión relativamente estable en la línea.

TABLA 7.4.1
EQUIPO DE PROCESO COMPRADO

CANT.	DESCRIPCION
1	"Manifold" de Control para el Sistema de Mezcla de Líquidos construido en Acero Inoxidable 316, conteniendo válvulas accionadas neumáticamente y un Inyector de Vapor en la línea de recirculación al tanque
1	Bomba de Recirculación, construida en Acero Inoxidable 316, de 15.2cm x 10.2cm, con capacidad de 3,000 lt/min y motor de 30 kW
1	Estructura metálica con escalera, construida de tubo rectangular de 7.6cm x 12.7cm x 0.6cm, para soportar tanto el Manifold de Control como la Bomba de Recirculación en el sistema de Mezcla
1	Agitador de Disco, tipo Turbina, con eje de 6.35 cm y motor de 22 kW
1	Eductor con entrada de 7.6cm y salida de 10.2cm
1	Tamiz y Rompedor de Vórtice, para el cóno del tanque de mezcla
1	Filtro con entrada y salida de 10.2cm y canasta metálica perforada a 1.6mm , construido en acero inoxidable 304
2	Transportadores de Tornillo de 30cm x 6.1 m, cada uno con capacidad de 108 Tm/hora y motor de 19 kW
2	Tolvas de acero inoxidable 304, con capacidad de 3.4 m ³
2	Bombas (Descarga y Transferencia) de Acero Inoxidable 316, de 10.2cm x 7.6cm, con capacidad de 2,250 lt/min y motor de 19 kW
1	Caldera de vapor de 200 BHP
1	Tanque de condensados de 750 litros
1	Bomba de alimentación de agua a Caldera con impelente abierto, tipo Aurora, con motor de 5.6 kW
3	Celdas pesaje de 9,000 kg c/u
1	Indicador de Pesaje
1	UPS de 250 VA
4	Láminas de Acero Inoxidable de 4.8mm x 1.5m x 3.0m
9	Vigas WF29
5	Láminas de hierro negro de 7.9mm x 1.8m x 6.0m
36	Tubos de hierro negro de 10cm de diámetro, 6.0m de largo, Cédula 40
1	Kit de reparación para bomba de 15.2cm x 10.2cm
1	Kit de reparación para bomba de 10.2cm x 7.6cm
2	Cojinetes Rex Mep 6.35cm (Repuesto)
4	Fajas 5V710 para agitador (Repuesto)
1	Válvula de 7.6cm con actuador de aire (Repuesto)
2	Válvula de 10.2cm con actuador de aire (Repuesto)
2	Válvula de 15.2cm con actuador de aire (Repuesto)
2	Acople motor 9S p/bomba Recirculación (Repuesto)
1	Acople motor 8S p/bomba Descarga (Repuesto)
2	Operadores de aire MAC (Repuesto)
2	Válvulas control flujo aire (Repuesto)
10	Pies de manguera de 7.6cm

15	Pies de manguera de 10,2cm
5	Pies de manguera de 16.8cm
2	Angulares rolados de 5.1cm x 5.1cm x 6.3mm, en acero inoxidable 304.
1	Compresor de aire, con capacidad de 0.68 m ³ /min y motor de 5.6 kW.
10	Codo 90°, Ced. 40, 304 SS, 7.6cm
3	"Tee", Ced. 40, 304 SS, 7.6cm
12	"Flange" 150#, 304 SS, 7.6cm
4	Válvulas Mariposa SS, 7.6cm
6	Tubería de 6.0m, Ced. 40, 304 SS, 7.6cm
10	Codo 90°, Ced. 40, 304 SS, 10.2cm
16	"Tee", Ced. 40, 304 SS, 10.2cm
2	Reductor 10.2cm x 7.6cm, Ced. 40
3	Plato ciego 10.2cm
64	"Flange" 150#, 304 SS, 10.2cm
23	Válvulas Mariposa, SS, 10.2cm
8	Tubería de 6.0m, Ced. 40, 304 SS, 10.2cm
1	Plancha de asbesto de 3.2mm x 1.2m x 2.4m
1	Tablero eléctrico, con switch de transferencia manual a planta eléctrica, interruptores, guardamotors/contactor para motores e instrumentación.
1	Transformador Seco de 45 KVA, 480-120/240V
1	Suavizador para agua, de 0.11 m ³ , 75 lt/min, de resina catiónica
1	Deslizador para agua, de 0.11 m ³ , 75 lt/min, de resina aniónica fuerte
1	Tanque aéreo, material H.N., con espesores combinados de lámina de 4.8mm x 6.4mm, con capacidad de 600,000 litros

Se efectuó un análisis químico del agua de la planta con cuyos resultados se verificó que es adecuada como agua de proceso en la producción de UAN. Este análisis también sirvió de base para el diseño del sistema de tratamiento del agua para uso en la caldera, descrito en la sección 7.3 anterior. En la Tabla 7.5.1 se muestran los resultados del análisis del agua.

b) Obras Civiles:

Una de las obras civiles de mayor importancia fue la compactación del suelo y la construcción de un anillo de concreto para el montaje del tanque de almacenaje de producto terminado de 600,000 litros. Asimismo, la construcción de las bases del tanque elevado de agua. Las mismas fueron realizadas preservando un árbol "ficus" de más de 20 años de edad.

El equipo de proceso fue instalado en la esquina sur de una bodega que se utilizaba para almacenar estibas de fertilizante ensacado (producto terminado). Considerando la carga anteriormente soportada y la sólida construcción del piso, se estimó que no había necesidad de hacer ninguna base para sostener las patas de los tanques. Sin embargo, debido a la vibración de los transportadores de tornillo, lo que se hizo fue anclarlos al piso, con tornillos de expansión de 1.9cm x 17.8cm ($\frac{3}{4}$ " x 7").

La caldera, así como su tanque de 19,000 litros de combustible (bunker o aceite No. 6), se instalaron en la parte externa de dicha bodega, dirección este, aprovechando un "mezzanine" elevado de concreto reforzado, de aproximadamente 3 metros de ancho. Al igual que con el piso de la bodega, no hubo necesidad de reforzarlo.

Sin embargo, debido a lo restringido de esta área, se extendió el "mezzanine" en el espacio ocupado por la caldera, para asegurar que la operación fuese confortable y segura. Para aprovechar esta ampliación, se cercó con malla el área ocupada por la caldera y tanque de combustible, para restringir el paso de personal no autorizado, que pudiera hacer un uso inadecuado de tan delicado equipo. Hubo también necesidad de construir un alerón para extender el techo de la bodega en esta sección, dada la posibilidad de intromisión de lluvia.

Al tanque de combustible, proporcionado por TEXACO, se le construyeron dos bases de concreto sobre el "mezzanine" y perimetralmente, un muro de contención de concreto, para evitar cualquier derrame de bunker hacia el exterior. La piscina resultante tiene capacidad de contener el 80% del volumen total de dicho tanque.

TABLA 7.5.1
RESULTADOS DE ANALISIS DE AGUA

TURBIDEZ:	0.3 NTU
TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS:	175 mg/l
COLOR:	0
PH:	7.3

CONCENTRACIONES DE CATIONES Y ANIONES

(Expresadas como mg/l o ppm)

- CATIONES -	Como elemento:	Como CaCO₃:	-ANIONES-	Como elemento	Como CaCO₃:
Calcio (Ca)	18.3	45.8	Cloruro (Cl)	2.77	3.91
Magnesio (Mg)	7.42	30.6	Nitrato/nitrito (N)	2.1	7.6
Sodio (Na)	7.93	17.3	Sulfato (SO ₄)	7.0	7.0
Potasio (K)	2.51	3.21	Bicarbonato (HCO ₃)	100.8	82.6
Hierro (Fe)	<0.1		Fluoruro (F)	0.1	0.3
Manganeso (Mn)	0.02		Silice (SiO ₂)	65.0	
Cobre (Cu)	0.05				
Cinc (Zn)	0.05				
	mg/l			mg/l	
Cationes (CaCO ₃)	96.9		Aniones (CaCO ₃)	101.6	
Dureza (CaCO ₃)	76.4				

Fuente: Laboratorios de la empresa "Culligan International Company" en Illinois, EUA.

c) Instalación Eléctrica:

La instalación eléctrica del equipo de proceso fue realizada internamente, utilizándose por economía para la mayoría de los motores de alta potencia, la energía preexistente en la planta, de 460 Voltios, 3 Fases, 60 Hz. Sin embargo, la mayoría de motores de la caldera, así como la instrumentación de la misma fueron conectados en 220 Voltios, 3 Fases, 60 Hz. Para surtir la energía necesaria a estos equipos, se instaló un transformador seco de 45 KVA de 460/220 Voltios, 3 Fases, 60 Hz. Para la protección de los componentes electrónicos del sistema de pesaje y su indicador, se instaló un "UPS" del cual se alimenta la energía eléctrica para operar este sistema.

También fue necesario mejorar la iluminación, tanto de la parte interna de la bodega donde se instaló la planta, como el área externa de servicios (mezzanine). En la bodega se utilizaron 6 lámparas de mercurio de descarga de alta intensidad, de 175 Watt cada una. En el área del "mezzanine" se instalaron 4 lámparas dobles de 2.40 metros, gas neón, de 40 Watt. Toda la iluminación se conectó a 110 Voltios, monofásico.

Instalación del Equipo de Proceso:

La instalación del equipo se realizó por etapas. Inicialmente, se cuadró y se marcó en el piso de la bodega, la posición tanto del equipo principal (tanques, plataforma de manifold de mezcla, filtro y bomba de transferencia), como de la tubería de proceso.

Primeramente, se instaló la plataforma que soporta al mezclador. Esta plataforma fue alineada y nivelada. Posteriormente, se colocaron las celdas "simuladoras" de pesaje y finalmente, encima de ellas, se instaló el mezclador. Debido a lo delicado de las celdas de pesaje, se fabricaron celdas "simuladoras" falsas de hierro, exactamente iguales a las originales, las cuales se dejaron instaladas durante todo el tiempo que duró el montaje, para prevenir que cualquier descarga eléctrica proveniente de la soldadura, dañara las verdaderas celdas.

El punto siguiente en la instalación fue la nivelación y alineación de la plataforma del "manifold de mezcla, dirigiendo la succión de la bomba de recirculación hacia la descarga del mezclador.

Luego, se instaló el agitador mecánico al mezclador, soldándole al tanque en la parte superior del cilindro, un angular rolado de 5.1cm x 5.1cm x 0.6 cm (2"x2"x1/4"), de acero inoxidable 304, el cual sirve de base para los tubos cuadrados de hierro de 10.2cm x 10.2cm x 0.6cm (4"x4"x1/4") que soportan el motor/eje. Dicho eje se centró y alineó cuidadosamente en el mezclador para evitar "cabeceos", debido a la velocidad y largo del mismo.

El mezclador terminó de instalarse al conectarlo con mangueras hacia el "manifold" de mezcla y eductor. Este último quedó ubicado a un costado del mezclador, en dirección contraria al "manifold" de mezcla.

Los transportadores de tornillo para la dosificación de materias primas, así como las tolvas de recepción, se instalaron paralelamente al mezclador, evitando el contacto entre si.

El siguiente paso fue la instalación de los clarificadores. Al considerar la pendiente e irregularidad del piso de la bodega, se hizo necesaria la alineación y nivelación de los mismos.

Se instaló una línea de envasado de toneles con su respectivo riel de rodamiento dirigido hacia la plataforma de una báscula portátil para el pesaje del producto cargado a los toneles.

A partir de este punto, se principió con el tiraje de la tubería, comenzando con la alimentación hacia los clarificadores, desde la descarga del "manifold" de mezcla y pasando por el filtro. Esta tubería está ubicada en el nivel más bajo, casi a nivel del piso.

Posteriormente, se completaron las siguientes líneas:

- succión de clarificadores a bomba de transferencia.
- tanque de agua de proceso hacia succión del "manifold" de mezcla.
- descarga de bomba de transferencia a clarificador principal.
- succión de clarificador principal a "manifold" de mezcla.
- descarga de bomba de transferencia hacia tanque de almacenamiento.

Para evitar problemas de alineación en el tiraje de tuberías, se unieron inicialmente con "puntos" de soldadura y luego, se soldaron definitivamente. Toda la tubería instalada se unió por medio de "flanges", para facilitar su desarme.

Paralelamente al tiraje de las tuberías de proceso, se instaló la caldera y el tanque de combustible, en el "mezzanine" externo de la bodega. A la caldera se le instaló la conexión de succión y retorno de combustible. Luego, se realizó la conexión de agua al tanque de

alimentación o condensador y de la bomba de éste, a la caldera. Posteriormente, se instaló la fosa de purgas de la caldera y la conexión de vapor al serpentín de calentamiento de bunker. La línea de condensado proveniente del serpentín se tiró al drenaje, por la potencial contaminación con bunker. Finalmente, se le colocó la chimenea.

Partiendo de la caldera, se inició la instalación de la línea de alimentación de vapor al "manifold" de distribución general y de éste, se extrajo la línea de alimentación al inyector de vapor, ubicado en la línea de recirculación del "manifold" de mezcla. De este "manifold" se extrajo también una línea de vapor hacia la flauta del tanque de agua de proceso. El condensado del "manifold" se retornó al tanque de alimentación o condensador de la caldera. Se aisló térmicamente la tubería de conducción de vapor utilizando material de fibra de vidrio de 2.5 cm (una pulgada) de espesor.

Al final del montaje se instaló el compresor de aire, en conjunto con su tubería de distribución. De esta línea se extrajo un ramal para el accionamiento de las válvulas neumáticas del "manifold" de mezcla y otro, para el "flushing" de la tubería de descarga de la bomba de transferencia.

Fotografías de la Planta y Equipo de Proceso:

En las figuras de las hojas a continuación se presentan fotografías de la planta en general, y de varios equipos del proceso. Estas fotografías fueron tomadas en mayo de 1998.

Prueba Hidrostática y Pruebas de los Equipos Individuales

Luego de haberse instalado el equipo, así como las tuberías de conexión entre ellos, se realizaron pruebas hidrostáticas a todos los tanques y tuberías, de forma independiente.

Las fugas resultantes se fueron reparando conforme surgían; sin embargo, fueron poco significativas.

El primer equipo que se probó fue el compresor y la línea de aire. Posteriormente, se probó independientemente y en vacío, el accionamiento de cada válvula neumática en el "manifold" de mezcla.

El primer tanque que se evaluó fue el de agua de proceso, llenándolo totalmente con agua.

Después, con el tanque de agua de proceso lleno, se probaron por gravedad la línea de succión de agua al "manifold" de mezcla y también se transfirió parcialmente agua al tanque mezclador.

Adicionalmente se probaron por gravedad e independientemente, todas las tuberías de proceso, así como la parte baja y conos de los clarificadores.

Luego de realizadas estas pruebas hidrostática parciales y preliminares, se probó inicialmente la bomba de recirculación del "manifold" de mezcla, aprovechándose para llenar totalmente tanto el mezclador como los clarificadores. Asimismo, se probó la tubería y filtro, bajo presión.

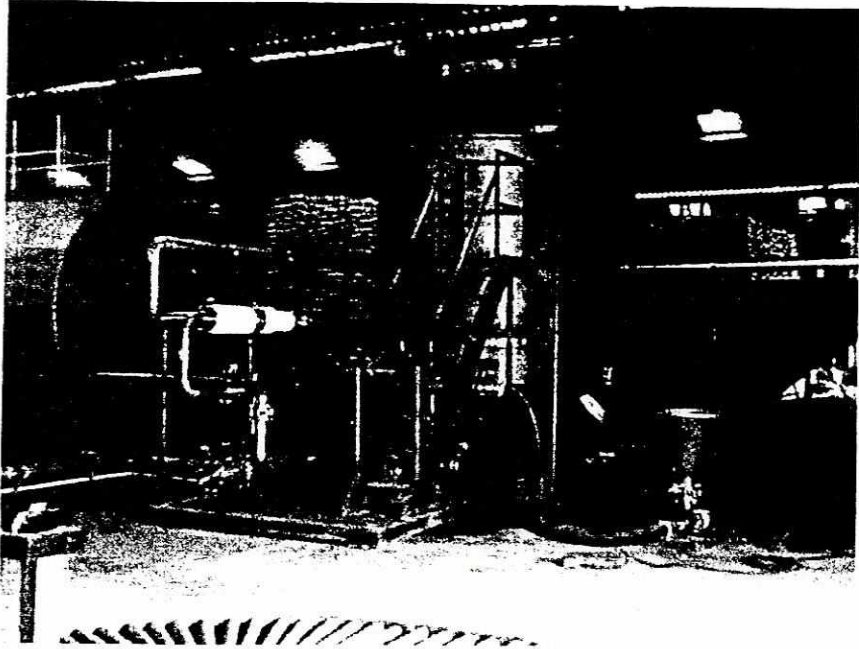


FIGURA 7.7.1 MEZCLADOR Y ACCESORIOS

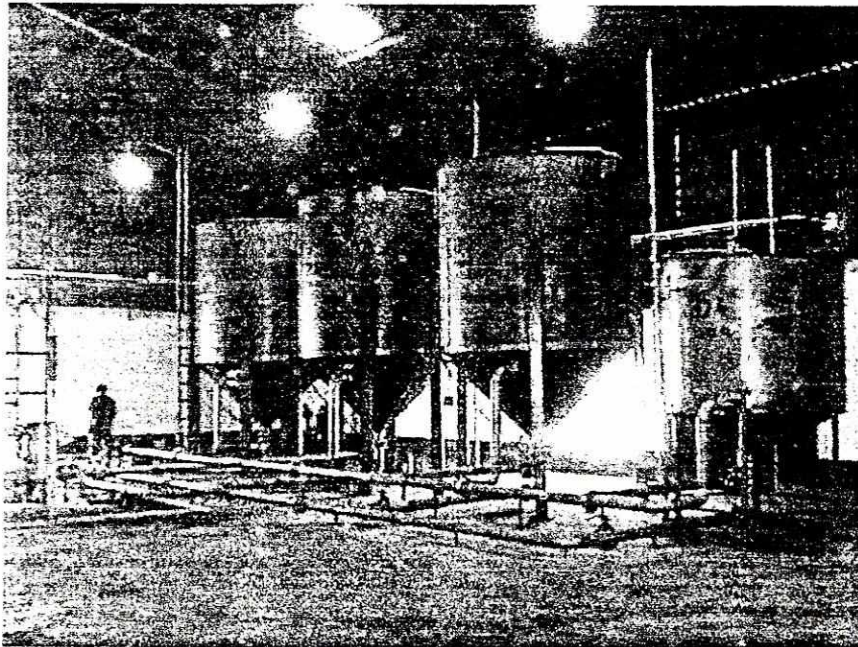


FIGURA 7.7.2 CLARIFICADORES PRIMARIOS

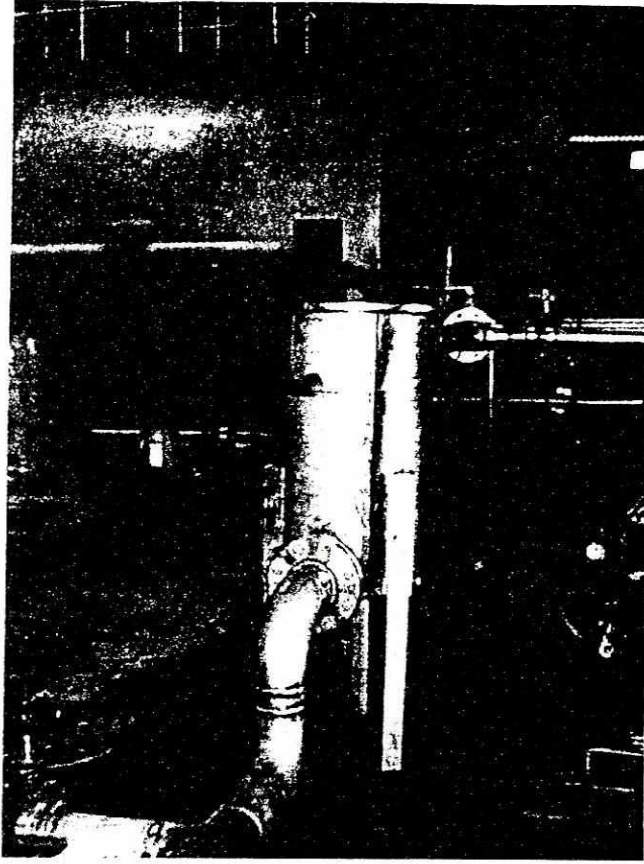


FIGURA 7.7.3 FILTRO

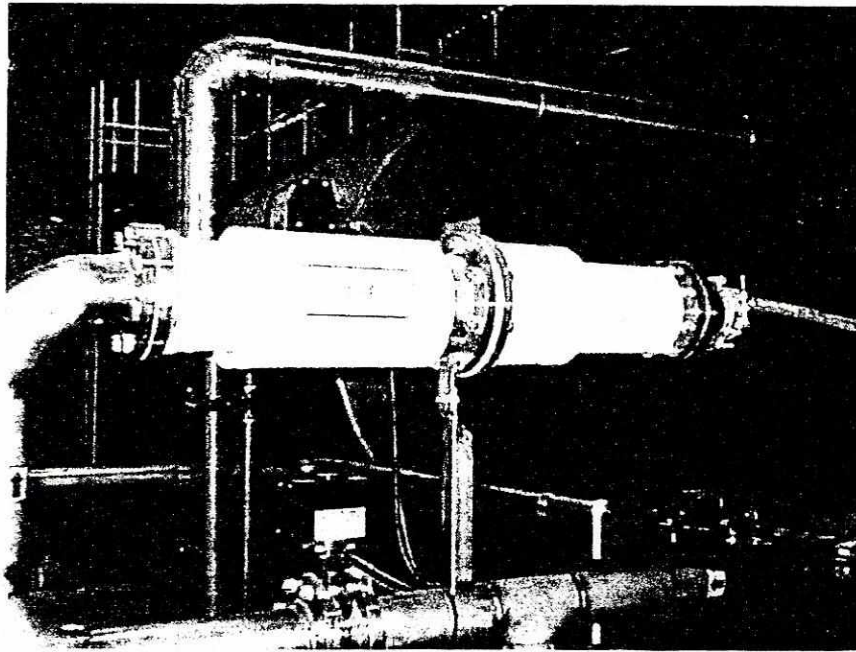


FIGURA 7.7.4 INYECTOR DE VAPOR

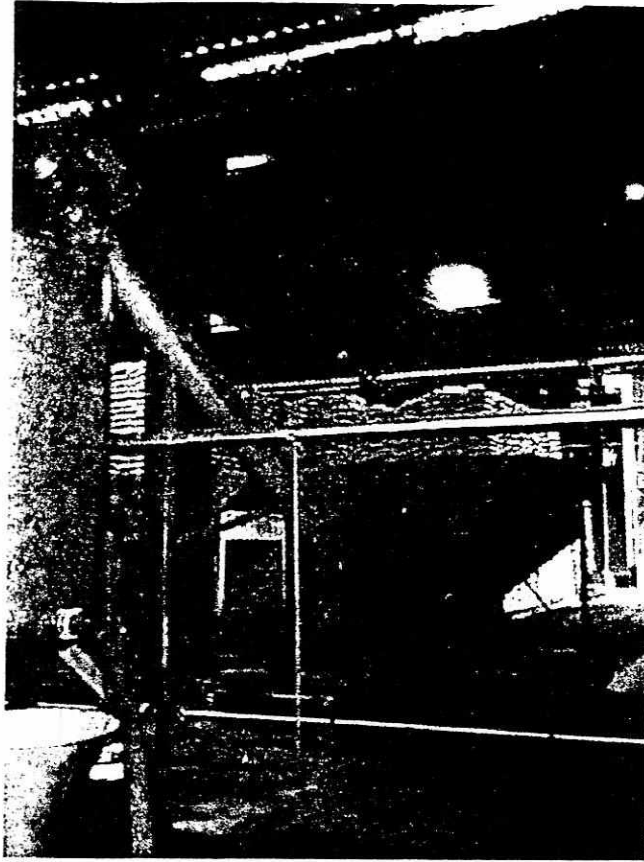


FIGURA 7.7.5 TORNILLO TRANSPORTADOR

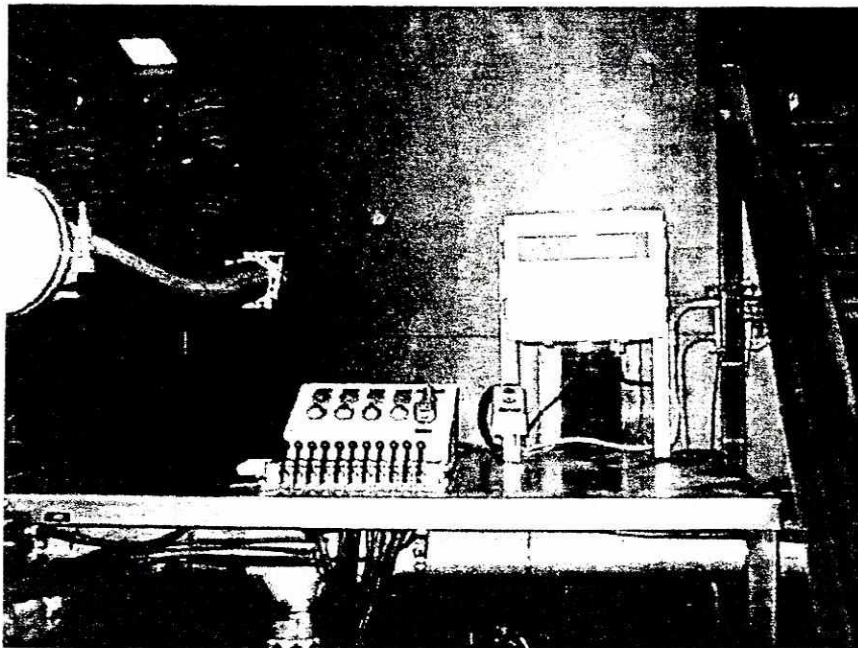


FIGURA 7.7.6 PANEL DE CONTROL E INDICADOR DE PESO

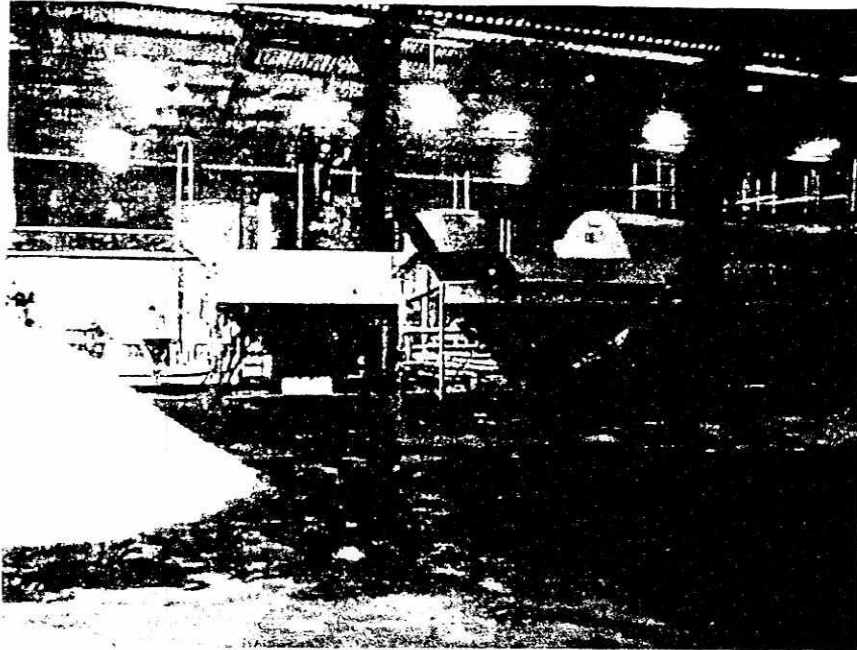


FIGURA 7.7.7 TOLVAS DE MATERIAS PRIMAS SOLIDAS

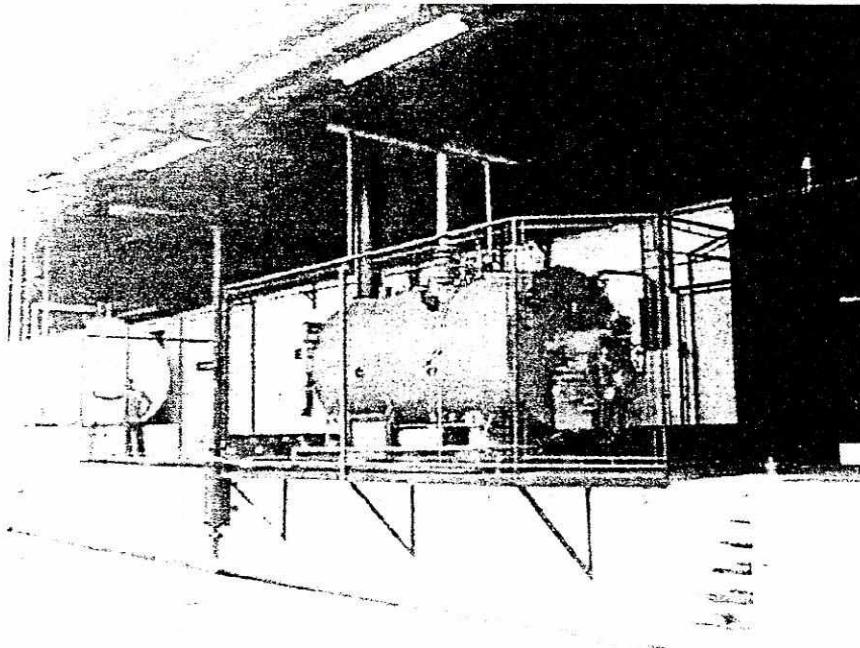


FIGURA 7.7.8 CALDERA DE VAPOR

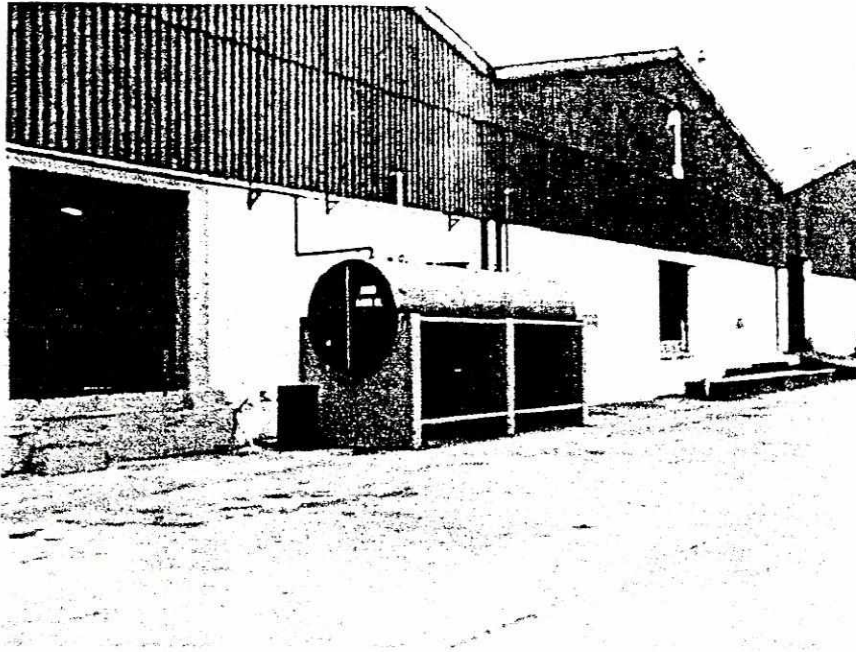


FIGURA 7.7.9 TANQUE DE AGUA DE PROCESO

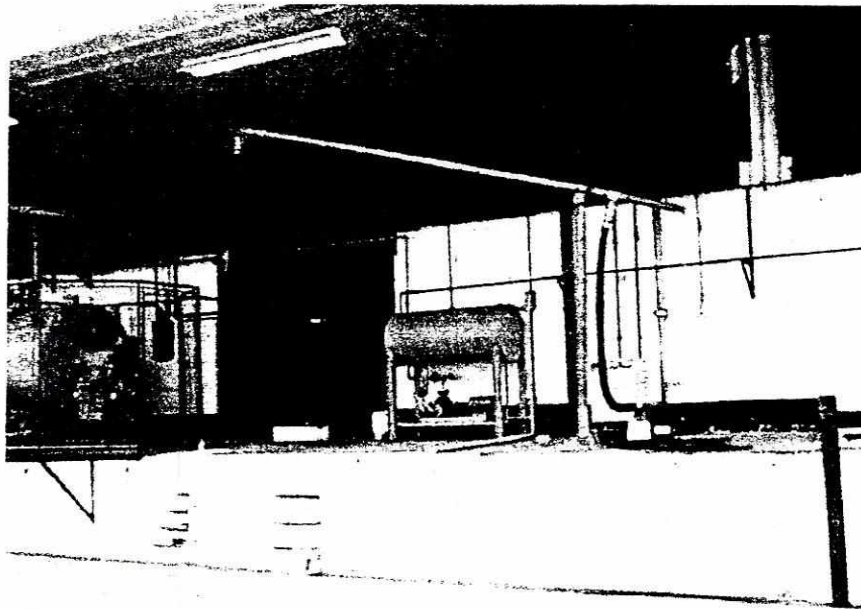


FIGURA 7.7.10 ESTACION DE DESPACHO A CISTERNAS

El filtro jugó un papel esencial, ya que atrapó todas las esquirlas de soldadura y colillas de electrodo dejadas en los equipos, para limpiar de ésta manera el sistema.

El siguiente paso fue probar la bomba de transferencia, con lo cual se examinó la tubería de carga a cisternas, la estación de llenado de toneles, la tubería de llenado del tanque de almacenamiento y este tanque.

El agitador del mezclador se probó después de llenar este tanque con agua, ya que si el nivel de líquido en el tanque no es lo suficientemente alto, puede torcerse el eje. La rotación se verificó que fuera en la dirección contraria a las manecillas del reloj, es decir, opuesto a la rotación lograda por la entrada tangencial de la línea de recirculación. Seguido, se probó el agitador, activando la recirculación con bomba. En ambos casos, se verificó que el amperaje del motor estuviera en el rango permisible.

Paralelamente a las pruebas hidrostáticas, se probaron los transportadores de tornillo en vacío, verificándose tanto la rotación, como su amperaje. Debido a lo corrosivo de las materias primas, los mismos se probaron con carga hasta el primer lote de producción.

Uno de los últimos pasos fue el arranque de la caldera, el cual fue responsabilidad de la empresa SIDASA, quien vendió éste equipo usado y reconstruido.

El vapor generado por la caldera en las pruebas de arranque se utilizó para probar la línea de vapor, el manifold de distribución, la línea de vapor hacia el tanque de agua de proceso y la flauta de calentamiento instalada en este mismo tanque, con la cual se calentó agua hasta 70-

80 °C. Adicionalmente, se probó la tubería de vapor hacia el inyector del "manifold" de mezcla. Con la recirculación encendida en el mezclador, se probó el inyector a 125 psi.

Finalmente, al tanque mezclador se le reemplazaron las celdas de pesaje simuladoras, de hierro, por las reales, de acero inoxidable. La conexión, prueba y calibración de estas celdas, así como la instalación del indicador de peso, fue realizado por la empresa SIPESA, quien había suministrado el sistema de pesaje (celdas, indicador, etc.). La calibración de las celdas se realizó cargándole gradualmente pesos conocidos al tanque, con lo cual se verificó la exactitud de las mismas en el rango de trabajo.

Puesta en Marcha de la Planta de UAN y Optimización del Proceso:

Como punto de partida en la puesta en marcha de la planta, se elaboró una hoja de formulación del UAN, la cual se muestra en la Tabla 7.9.1.

El programa de operaciones seguido en la formulación de cada lote en el mezclador fue el siguiente:

0. arranque de la caldera
1. acondicionamiento de la urea, nitrato de amonio y carga a tolvas
2. llenado de tanque de agua de proceso y calentamiento del agua con vapor directo
3. carga del agua caliente al tanque mezclador, inicio de recirculación con bomba
4. carga de la urea al tanque, inicio de agitación mecánica, recirculación se continúa
5. carga del nitrato de amonio al tanque, agitación y recirculación se continúan

6. adición de vapor a través del inyector, agitación y recirculación continúan
7. aforación con agua caliente
8. agitación y recirculación hasta disolución de los sólidos, toma de muestra
9. vaciado del tanque y carga a los clarificadores primarios al pasar por el filtro
10. sedimentación por gravedad en los clarificadores primarios,
11. traslado del material al clarificador secundario para continuar sedimentación
12. traslado del material al tanque de almacenamiento para posterior despacho

El acondicionamiento de las materias primas sólidas a granel se hizo a través del sistema de acondicionamiento de una torre de ensacado de fertilizantes sólidos. El acondicionamiento consiste en la desintegración de los aglomerados en forma de "piedras" y terrones" que se forman a partir de los gránulos o pequeñas "perlas" de urea y nitrato de amonio.

La muestra del producto tomada en el paso 8, se envía al laboratorio para efectuar análisis fisicoquímico. Se tomó una muestra representativa de cada lote producido.

En la Tabla 7.9.2 se muestran los resultados obtenidos en los primeros cinco lotes producidos. En esta Tabla se incluyen las cantidades de materias primas cargadas en cada lote, la temperatura del agua de proceso utilizada, la temperatura final del UAN en el mezclador, el tiempo de agitación en el mezclador, el tiempo en clarificación primaria y finalmente los resultados de análisis del laboratorio.

A continuación se describe una serie de problemas, con sus respectivas soluciones, que fueron encontrados durante la puesta en marcha de la planta:

**TABLA 7.9.1
HOJA DE FORMULACION DEL
UAN**

1 lote = 14,000 Kg

COMPONENTE	Nitrógeno %	Proporción % p/p	A cargar kg/lote	Acumulado kg	Nitrógeno Kg	
Agua de proceso	0	13.98%	1,957	1,957	-	
Urea perlada	46.0%	36.40%	5,096	7,053	2,344	52%
Nitrato de Amonio perlado	33.5%	45.60%	6,384	13,437	2,139	48%
Vapor de agua	0	4.00%	560	13,997	-	
Corblok K-LPH	0	0.01%	1.68	13,999	-	
Colorante verde	0	0.01%	0.95	14,000	-	
TOTAL	32.0%	100.00%	14,000		4,483	100%
						nitrógeno uréico 52% nitrógeno amoniacal 24% nitrógeno nítrico 24%

TABLA 7.9.2
RESULTADOS DE PUESTA EN MARCHA DE LA FABRICA

COMPONENTE	LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3	LOTE 4	LOTE 5
Agua de proceso (kg)	1,552	1,639	1,802	1,913	1,961
Urea perlada (kg)	5089	5102	5082	5099	5,096
Nitrato de Amonio perlado (kg)	6398	6394	6380	6373	6,384
Vapor de agua (kg)	950	850	750	650	560
Corblok K-LPH (kg)	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68
Colorante verde (kg)	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Total cargado en lote (kg)	13,992	13,988	14,017	14,038	14,004
COMPOSICION TEORICA					
N total (%)	32.0%	32.1%	31.9%	31.9%	32.0%
N uréico (% del N total)	52.2%	52.3%	52.2%	52.4%	52.3%
N amoniacal/nítrico (% del N total)	23.9%	23.9%	23.9%	23.8%	23.9%
DATOS DEL PROCESO					
Temperatura agua de proceso (C)	67	65	69	63	68
Temperatura final de mezcla (C)	29	31	32	26	28
Tiempo de agitación (min)	45	49	42	48	40
Tiempo de clarificación 1aria (min)	180	183	182	184	183
RESULTADOS DE ANALISIS					
N total (%)	32.3%	32.4%	31.6%	31.7%	32.2%
N uréico (% del N total)	52.1%	52.4%	52.2%	52.5%	52.1%
N amoniacal/nítrico (% del N total)	24.0%	23.8%	23.9%	23.8%	24.0%
PH	6.22	6.36	6.15	6.29	6.31
Densidad (g/ml)	1.328	1.329	1.325	1.326	1.328

- El amperaje del motor del agitador del mezclador se disparó a niveles por arriba de los aceptables cuando el agitador se operaba simultáneamente con la recirculación en el tanque mezclador. Este problema se acentuó aun más al inyectar vapor a la línea. Este problema se corrigió cambiando las poleas y fajas que conducen el agitador, a efecto de reducir su velocidad de rotación.

- Hubo derrame de líquido a través de los empaques de la bomba de recirculación. Este problema se originó por el tipo de sello en las bombas, que consistía originalmente en empaques (o "estopas") de teflon. Este problema se corrigió cambiando el mecanismo de sello, instalando sellos mecánicos en la bomba.

- Hubo derrame de líquido en el filtro. Este problema ocurrió por la falta de sello hermético en el filtro. El problema se corrigió fabricando un "flange" en el perímetro de la parte superior del filtro, y la adición de más pernos para el sello de la tapadera en esta parte superior sobre el "flange". Además, se reforzaron las canastas ya que éstas se estaban deformando por el exceso de presión generada al taponearse el sistema.

- Luego de fabricar el segundo lote, hubo taponamiento en el sistema provocado principalmente por material foráneo introducido con el nitrato de amonio. El taponamiento se dió principalmente en el filtro y en la línea de recirculación. El material foráneo era principalmente material plástico proveniente del material de empaque en el cual el nitrato de amonio se encontraba ensacado (sacos de polipropileno con bolsas de polietileno). Este problema no se logró eliminar pero sí

se redujo a niveles aceptables gracias a las medidas que se tomaron en el desensacado y alimentación de esta materia prima al proceso. Es importante notar que el tanque mezclador tiene un tamiz en su parte inferior exactamente en la salida hacia la línea de recirculación. Este tamiz está diseñado precisamente para remover material foráneo que se haya introducido con las materias primas. Sin embargo, el material que causó el taponamiento, por su pequeño tamaño, logró pasar a través de este tamiz.

La optimización del proceso depende de los dos factores principales del costo variable de operación: 1) costo de combustible en la generación de vapor, y 2) costo de mano de obra directa.

La optimización en el costo de combustible, se hizo a través de una reducción gradual de consumo de vapor desde 55 kg/Tm de UAN hasta llegar a 40 kg/Tm de UAN, o sea un 4% , que equivale a 560 kg de vapor por lote de 14,000 Kg

La optimización en el costo de mano de obra directa en el proceso se hizo analizando las operaciones a realizarse en el mismo, para optimizar los requerimientos de mano de obra directa. Estos requerimientos, ya optimizados son:

- un operador de cargador frontal
- un operador de caldera
- un formulador/operador
- un operador auxiliar

Selección del Agente de Control de la Corrosión :

Como se decía en la sección 2.8, el alto poder corrosivo del UAN-32 hace necesario tratarlo con un inhibidor de corrosión efectivo, ya que el UAN es comúnmente manejado y almacenado en equipos y tanques, tanto de acero al carbón como de aluminio.

De acuerdo a información del "Centro Internacional para el Desarrollo de los Fertilizantes" (IFDC por sus siglas en inglés) en Alabama EUA, algunos inhibidores de corrosión tradicionales, como lo son el Bórax, DAP, 10-34-0, y Amoníaco libre, se han utilizado extensivamente en el pasado. Sin embargo, se han reportado problemas de corrosión al utilizar estos inhibidores tradicionales además de que éstos no presentan flexibilidad en lo relacionado a las características agronómicamente deseables.

Se contactaron diferentes proveedores de inhibidores de corrosión; sin embargo, se constató que sus diferentes productos han sido desarrollados para inhibir el efecto corrosivo de ácidos fuertes específicos, como lo son el ácido clorhídrico, fosfórico, sulfúrico, etc., generalmente utilizados para desincrustar superficies de transferencia de calor como en el caso de calderas, intercambiadores, torres de enfriamiento, etc.

Asimismo, se investigó en empresas petroquímicas, ya que un medio indirecto para controlar la corrosión es utilizar un derivado de hidrocarburo (aceite), que forme una película protectora aislante entre la superficie del metal y el líquido. Sin embargo, si bien este concepto tiene lógica y preserva en cierto grado los equipos de la planta

productora, no garantiza o asegura la protección de los equipos del consumidor final, al considerar la inmiscibilidad del aceite en el producto.

Debido a que la corrosión no es un problema temporal, se siguió investigando hasta encontrar un inhibidor de corrosión específico para soluciones de UAN-32 que, según la empresa proveedora "M. Michel & Co Inc" de Nueva York EUA, cumple a cabalidad con las características buscadas:

1. Incorporado directamente: Completamente soluble y dispersable en soluciones de UAN-32.
2. Probado en campo: Por más de 4 años en plantas de UAN-32, alrededor del mundo y basado en 20 años de experiencia en inhibición de corrosión, específicamente diseñada para este tipo de soluciones.
3. Compatible con pesticidas, herbicidas y suspensiones de fertilizantes, no interfiriendo con las operaciones de mezclado.
4. No espumante: Las soluciones de UAN-32 inhibidas con este producto no causan espuma durante el almacenamiento, carga, transporte o aplicación. La formación de espuma es indeseable porque retrasa la carga de cisternas en las estaciones de llenado y causa problemas de desuniformidad en sistemas de aplicación (inyección/spray) en el campo.
5. Efectivo: A bajas dosis de inhibidor (75 ppm), a bajos niveles de pH y sobre largos períodos de almacenamiento.
6. Económico en uso: Trabaja activamente a menores dosis (ppm) que otros inhibidores.
7. Estable a temperaturas elevadas: Que no se separe de la solución formando miscelas y aglomerados.

8. Evita formación de lodos: No contribuye a formar lodos que de otra manera se depositarían en el fondo del tanque y serían precursores de celdas de corrosión debajo de estos depósitos.
9. Alto nivel de protección en las zonas afectadas por el calor, alrededor de las soldaduras. Un fuerte escudo ánodo-cátodo resguarda ambos sitios donde el ataque corrosivo es muy agresivo.
10. Medible: Existen métodos analíticos de laboratorio para determinar la concentración del inhibidor en el UAN-32.
11. Historial de uso seguro en el ambiente agrícola, basado en estudios extensivos de toxicidad en prestigiosos e independientes laboratorios de prueba.

Este agente de control de la corrosión se comercializa bajo la marca registrada "Corblok". Se ofrecen dos tipos de inhibidores específicos para UAN, uno para rangos de pH ácidos bajo la marca "Corblok K-LPH" y otro para rangos de pH neutro y alcalino bajo la marca "Corblok K".

Al producir el UAN disolviendo urea y nitrato de amonio, se obtiene normalmente un pH ligeramente ácido. Si se desea un pH alcalino, éste se obtiene eficazmente agregando pequeñas cantidades de amoníaco. En nuestro caso, al considerar que desde el punto de vista agronómico en Guatemala en general es preferible un pH ligeramente ácido, se optó por dejar el pH ligeramente ácido tal como se obtiene en el proceso de producción. Consecuentemente, se seleccionó el "Corblock K-LPH" como agente de control de la corrosión. Sin embargo, podría perfectamente producirse el UAN con un pH alcalino y utilizando el "Corblok-K" como agente de control de la corrosión.

The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that every entry should be supported by a valid receipt or invoice. This ensures transparency and allows for easy verification of the data.

In the second section, the author outlines the various methods used to collect and analyze the data. This includes both primary and secondary data collection techniques. The primary data was gathered through direct observation and interviews, while secondary data was obtained from existing reports and databases.

The third section details the statistical analysis performed on the collected data. This involves the use of descriptive statistics to summarize the data and inferential statistics to test hypotheses. The results of these analyses are presented in a clear and concise manner, highlighting the key findings of the study.

Finally, the document concludes with a summary of the findings and their implications. It discusses the limitations of the study and suggests areas for future research. The overall goal is to provide a comprehensive overview of the research process and its results.

VIII. DISCUSION

Discusión de Sección 7.1: Estudio de Mercado de Fertilizantes Líquidos de Guatemala:

En la Tabla 7.1.4 nótese que la participación en el mercado así como el crecimiento de las ventas implícitos en estas proyecciones, son bastante conservadores en comparación con la participación en el mercado de fertilizantes nitrogenados que tiene el UAN en el mercado de fertilizantes de los países desarrollados y el crecimiento histórico en su consumo tal como se aprecia en las Gráficas 2.1.1 y 2.1.2 . En los cultivos de banano, melón y ornamentales, la alta participación del UAN implícita en la Tabla 7.1.4 se razona considerando que en estos cultivos ya existe la demanda inmediata de fertilizantes líquidos ya que se utilizan sistemas de irrigación extensivamente.

Las proyecciones del mercado del UAN en la Tabla 7.1.5 consideran únicamente los fertilizantes nitrogenados aplicados directamente y no en mezcla con otros nutrientes. Por lo tanto, en el momento en que se desarrolle el mercado de fertilizantes líquidos completos (aquellos con 2 o más nutrientes) el volumen de ventas de UAN aumentará ya que éste sirve de fuente de nitrógeno en la fabricación de los fertilizantes líquidos completos. Además, considerando que en la misma planta de UAN también se pueden producir fertilizantes líquidos completos así como suspensiones, la planta podría optimizarse en su nivel de utilización de la capacidad instalada con la producción de estos fertilizantes.

a) Discusión de Sección 7.2: Ubicación de la Planta, Almacenamiento de Materia Prima y Producto Terminado:

Se considera que el punto seleccionado para la ubicación de la planta es el óptimo ya que se seleccionó al observar una serie de factores claves tales como la cercanía a mercados objetivos claves, el posicionamiento con relación al abastecimiento por la vía marítima, y la disponibilidad en esta localidad de instalaciones para recepción y almacenaje de materias primas sólidas a granel además de área con piso y techo para ubicar la planta.

b) Discusión de Sección 7.3: Selección y Dimensionamiento del Equipo de Proceso, Diagrama de Distribución del Equipo:

La Tabla 7.3.1, en donde se dimensionan los equipos de proceso principales, está desarrollada en una hoja de cálculo electrónica "Excel", estando todos los parámetros interrelacionados. De esta forma, la hoja electrónica es una excelente herramienta para evitar cuellos de botella en los sistemas de almacenamiento y reclamo de materias primas, y almacenamiento y despacho de producto terminado.

Al principio de la Tabla 7.3.1 se compara la capacidad de producción versus las proyecciones del mercado de UAN (de acuerdo a la Tabla 7.1.5). Las proyecciones de mercado se comparan contra la "capacidad holgada de producción" y contra la "capacidad instalada de producción". La primera considera 44 horas semanales de trabajo durante 50 semanas al año mientras que la segunda considera 22 horas de trabajo diarios durante 350 días al año. Puede notarse que desde el punto de vista de

“capacidad instalada”, la planta esta holgada, mientras que desde el punto de vista de la “capacidad holgada”, la planta tiene una capacidad muy adecuada para el crecimiento que se proyecta para el mercado de UAN. El aparente déficit de producción que se refleja a partir del año 2001 en donde la “utilización” de la “capacidad holgada” sobrepasa el 100%, se podría manejar perfectamente con la implementación de turnos adicionales de producción. Además, como se dijo anteriormente, esta planta ha sido diseñada de tal forma que pueda instalarse una segunda unidad de producción y así sucesivamente de acuerdo a la penetración en el mercado.

La capacidad de producción de esta planta es comparable a la de una planta de mezclas físicas de fertilizantes sólidos, en las cuales normalmente se cuenta con dos líneas de ensacado, cada una con producción aproximada de 13 Tm/hora.

c) Discusión de Sección 7.5.b: Suministro de Agua:

Tal como se dijo en la Sección 7.5.b, con base en los resultados del análisis efectuado al agua de la planta se concluyó que esta es adecuada como agua de proceso en la producción del UAN. Aunque para utilizar esta misma agua para la generación de vapor en la caldera fue necesario instalar un sistema de tratamiento para reducir su dureza y remover su alto contenido de sílice, para agua de proceso es perfectamente adecuada. Esto es fácil comprenderlo al verificar que la naturaleza del producto final no requiere que el agua este libre de estos compuestos, que sí son capaces de causar serios problemas en la generación de vapor en una caldera. Por ejemplo, los compuestos de calcio y magnesio que son los principales responsables de la dureza

encontrada en el agua, son perfectamente aceptables, y hasta de valor nutricional, en un fertilizante líquido como el UAN.

d) Discusión de Sección 7.9: Puesta en Marcha de la Planta de UAN y Optimización del Proceso:

El problema de taponamiento en el filtro y la línea de recirculación dependerá principalmente del uso o no uso de materias primas que estén ya ensacadas (en sacos de polipropileno con bolsas de polietileno, normalmente), y en las medidas que se tomen en el manejo de las materias primas sólidas a granel. Es importante notar que el estado de granulometría y el contenido de humedad no son relevantes si la urea o el nitrato de amonio se utilizan como materias primas en la producción del fertilizante líquido UAN, pero sí son sumamente relevantes con relación a la calidad de estos materiales en su presentación comercial como fertilizantes sólidos. Por lo tanto, ciertos lotes de urea o nitrato de amonio que se encuentren con una calidad degradada medida en términos del contenido de humedad, granulometría, y apelmazamiento, se pueden utilizar sin mayor problema en la producción de UAN, asignándosele un costo reducido por su degradación en calidad como fertilizante sólido. De esta forma, la planta de producción del fertilizante líquido UAN se convierte en un canal óptimo para la utilización de estos lotes que no sólo se generan dentro de la empresa sino también se obtienen en el mercado internacional como fuera de especificaciones.

La optimización en el uso de vapor está sujeta a una serie de variables. La realidad es que en esta planta sería posible producir el UAN sin utilizar vapor. En este caso, el calor necesario para la disolución de la urea y el nitrato de amonio tendría que

provenir del agua de proceso, así como del medio ambiente (asumiendo que tanto la temperatura del agua como la temperatura ambiente, son superiores a la temperatura de cristalización del UAN, tal como efectivamente sucede en esta planta). El problema sería que el tiempo necesario para llevar a cabo la disolución de las materias primas sólidas sería excesivo y resultaría en una sub-utilización de la capacidad instalada potencial.

De esta forma, la optimización en el uso de vapor es algo que dependerá del régimen de producción que sea demandado de la planta. Cuando se demande una alta capacidad de la planta, se utilizará más vapor de tal forma que se reduzca el tiempo de residencia en el mezclador y así se incremente la capacidad efectiva de producción.

Los requerimientos de mano de obra directa en el proceso a que se llegó, son comparables a los que se tienen en la formulación y ensacado directo de fertilizantes sólidos. El operador de cargador frontal y el operador/formulador también está presente en las operaciones con sólidos. Sin embargo, tomando en cuenta que en nuestro medio los fertilizantes sólidos se manejan en sacos, esto demanda un equipo de operadores de línea de ensacado que alcanza el número de 6 a 8 personas por cada línea de ensacado. El fertilizante líquido UAN se manejará a granel en su mayoría, por lo que en la producción de este fertilizante no se requerirá de esta mano de obra directa adicional. Además, se ahorrará el costo del material de empaque.

e) Discusión de Sección 7.10: Selección del Agente de Control de la Corrosión:

Se considera que la selección del "Corblok K" como agente de control de la corrosión es la mas adecuada ya que no existe en el mercado otro agente con mejores propiedades para esta aplicación. Como se dijo, este producto ha sido desarrollado específicamente para el UAN y es el de uso más extenso en esta industria. Sus propiedades anticorrosivas son excelentes y el incremento que implica en el costo del UAN es muy bajo.

IX CONCLUSIONES

Se cumplió con los objetivos generales de construir una planta de producción del fertilizante líquido nitrogenado UAN partiendo de urea y nitrato de amonio sólidos, y de una forma económica en comparación con los fertilizantes nitrogenados sólidos. La metodología planteada para la realización de este trabajo fue seguida y cumplida a cabalidad.

La capacidad de producción de la planta es adecuada para las proyecciones del mercado del fertilizante líquido UAN.

Se produjo el fertilizante líquido nitrogenado UAN en la planta, cumpliéndose con las especificaciones técnicas del producto que se habían planteado. Se produjo UAN con pH ligeramente ácido, tal como resulta del proceso de disolución y mezcla de materias primas en el mezclador. Se puede producir un UAN ligeramente alcalino agregando al mezclador una pequeña cantidad de amoníaco acuoso. De esta forma se puede ofrecer al cliente el producto con el pH que sea más conveniente con base en las condiciones del suelo y del cultivo en donde se vaya a utilizar.

Se verificó el adecuado funcionamiento del equipo de proceso. Se resolvieron los problemas encontrados durante la puesta en marcha.

La utilización de materias primas sólidas que tengan alto contenido de material foráneo, así como la utilización de materias primas que estén ensacadas, pueden resultar en problemas de taponamiento en el sistema de producción.

La optimización en el uso de vapor dependerá del régimen de demanda de producción a que esté sujeta la planta. Se optimizó el requerimiento de mano de obra directa en el proceso hasta llegar a un equipo de cuatro personas.

X. RECOMENDACIONES

En el Manejo del Problema de Taponamiento:

Como punto de partida en el manejo de este problema deberá establecerse si el problema de taponamiento es algo que se dará con frecuencia o si sólo se dará cuando se utilicen lotes excepcionales de materias primas. En este sentido, la pregunta principal es si se utilizarán con frecuencia materias primas que ya se encuentren ensacadas. Asumiendo que la respuesta a la pregunta es sí, o que el problema de taponamiento es algo que inevitablemente se dará, se podrían tomar las siguientes medidas que tenderían a minimizar el impacto de este problema:

- Instalación de un medidor de diferencial de presión entre la salida y la entrada del filtro. Con la medición de este diferencial de presión se podría llegar a predecir cuando el sistema esté a punto de taparse y así proceder a su limpieza. De esta forma se evitan atrasos en la producción y el deterioro de las canastas metálicas.
- Instalación de un sistema de acondicionamiento y tamizado de las materias primas sólidas a granel. El acondicionamiento consiste en la desintegración de aglomerados de gránulos de las materias primas. Estos aglomerados que se forman tienen la apariencia de "piedras" o "terrones" que hay que desintegrar antes de alimentar a la tolva de materias primas de la planta de UAN. El tamizado sería para remover material foráneo o aglomerados que hayan pasado el sistema de acondicionamiento. Con la remoción de material foráneo en esta etapa se reduciría

drásticamente el problema de taponamiento ocasionado por pedazos de material de empaque que serían perfectamente retenidos en esta etapa de tamizado.

- Instalación de un segundo filtro de tal forma que mientras se limpia uno se utilice el otro y así no se tenga que suspender la producción.

b) En el Calentamiento del Agua de Proceso y su Impacto en la Disolución de las Materias Primas Sólidas

El actual tanque de almacenamiento de agua de proceso es de hierro negro por lo que es propenso a la corrosión. Se corre el riesgo de que esta corrosión y sus efectos se acarreen al tanque mezclador, y por consiguiente, al UAN. La situación se agrava por el hecho de que puede suceder (y de hecho ocurrió durante la puesta en marcha), que en la primera etapa de formulación del UAN se regrese parte del agua cargada por haberse excedido de lo establecido en la Hoja de Formulación. Inevitablemente, dicha agua acarrea trazas de UAN provenientes de lotes anteriores, estancados en el "manifold" de mezcla.

Sería recomendable dejar el tanque existente de hierro negro, pintado de color negro, únicamente para las producciones de NPK's (calentado por la radiación solar) e instalar otro, de acero inoxidable, para calentar el agua con vapor. Este tanque preferentemente debe estar aislado con fibra de vidrio para evitar las pérdidas de calor al ambiente.

La temperatura del agua de proceso alimentada al tanque mezclador podría incrementarse sustancialmente (a unos 85-90 °C) y así facilitar significativamente el proceso de disolución de las materias primas sólidas en el mezclado.

En lugar de utilizar vapor directo para calentar el agua, podría utilizarse un serpentín con la ventaja de poder retornar el condensado resultante hacia el tanque de alimentación de la caldera. Esta medida conllevaría asimismo, las siguientes ventajas:

- Un mayor control de los ciclos de concentración de la caldera, con lo cual se minimizaría su incrustación.
- Menor costo de tratamiento, tanto de químicos como de regenerantes de resinas, ya que se aumentaría el tiempo entre ciclos de regeneración. Esto resulta porque la caldera requeriría menos cantidad de agua cruda de reposición.
- Menor choque térmico a los tubos de la caldera. Actualmente se utiliza agua de relleno a temperatura ambiente (fría), la cual choca con la alta temperatura de los tubos de fuego. Al existir un alto nivel de retorno de condensados, aumentaría significativamente la temperatura del agua de alimentación, aumentando la vida útil de la caldera.

c) En el Control de los Procedimientos de Producción y Control de Calidad

Se recomienda la elaboración de un "Manual de Procedimientos" en donde se describan con detalle todos y cada uno de los pasos a seguir en la producción del fertilizante líquido UAN. Este manual también debe dar la información relevante a las medidas a tomar para la optimización del proceso y a las medidas a tomar en caso de problemas tales como el taponamiento. Algo complementario a la elaboración de este "manual" sería la rotulación de los equipos, válvulas y tuberías principales a efecto de identificarlos claramente.

Con relación a la toma de la muestra del producto terminado para control de calidad, se podría reducir el número de muestras a una muestra representativa de varios lotes (este número a determinarse sobre la base de cálculos de estadística) en vez de una muestra por lote como se está haciendo. De esta forma se podría establecer un control estadístico orientado a mantener el sistema de producción bajo control. El control se daría en términos de la medición de ciertas propiedades básicas del producto terminado como lo son: el contenido de nitrógeno total, la proporción de nitrógeno nítrico, la densidad, etc.

También se recomienda montar un método de análisis para la determinación de la cantidad de sólidos no disueltos en el producto terminado a efecto de contar con un indicador eficaz que permita establecer y controlar dentro de los límites aceptables en la calidad del producto terminado.

XI BIBLIOGRAFIA

1. Atkins, P. 1982. Physical Chemistry. Oxford University Press. Segunda Edición, Estados Unidos de América.
2. Johnson, F., E. Huber. 1991. Quality of Fluid Fertilizers. En: Palgrave, D. (ed.) Fluid Fertilizer Science and Technology. pp. 532-538. Marcel Dekker, Inc., Estados Unidos de América.
3. Kachelman, D. 1989. Fluid Fertilizer Reference Manual. Tennessee Valley Authority Library, 1a edición, Estados Unidos de América.
4. Miller, S. et al. 1984. Liquid-Solid Systems. En: Perry's Chemical Engineers' Handbook. pp. 19-52 a 19-62. Mc-Graw Hill Inc, Estados Unidos de América.
5. Palgrave, D. 1991. Global Status of Fluid Fertilizers. En: Palgrave, D. (ed.) Fluid Fertilizer Science and Technology. pp 35-37. Marcel Dekker, Inc., Estados Unidos de América.
6. Treybal, R. 1980. Operaciones de Transferencia de Masa. Mc-Graw Hill, Segunda Edición, México.

	A	B	C	D	E	F
1	ANEXO					
2	METODOS DE CALCULO EN LA TABLA 7.3.1					
3						
4	CAPACIDAD DE PRODUCCION VS MERCADO DE UAN					
5						
6		año 1998	año 1999	año 2000	año 2001	año 2002
7		klit	klit	klit	klit	klit
8	Ventas	4352	9380	18888	24476	30313
9	Capacidad Holgada de Produccion*	=+B76	=+B76	=+B76	=+B76	=+B76
10	Utilización de Capacidad Holgada	=+B8/B9	=+C8/C9	=+D8/D9	=+E8/E9	=+F8/F9
11	Capacidad Instalada de Produccion**	=+\$B\$77	=+\$B\$77	=+\$B\$77	=+\$B\$77	=+\$B\$77
12	Utilización de Capacidad Instalada	=+B8/B11	=+C8/C11	=+D8/D11	=+E8/E11	=+F8/F11
13						
14						
15						
16	Tamaño del Lote	14000	kg			
17	Densidad del UAN 32% N	1.32	kg/lt			
18	Tamaño del Lote	=+B16/B17	lt			
19						
20	FORMULACION DE UAN 32% N *					
21	Componente	% p/p	kg/lote	% N	kg N/lote	
22	Agua	0.14	=+B22*\$B\$16	0	=+C22*D22	
23	Urea	0.364	=+B23*\$B\$16	0.46	=+C23*D23	
24	Nitrato de Amonio	0.456	=+B24*\$B\$16	0.335	=+C24*D24	
25	Vapor de agua	=1-B24-B23-B22	=+B25*\$B\$16	0	=+C25*D25	
26	Total	1	=SUMA(C22:C25)	=+E26/C26	=SUMA(E22:E25)	
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33	PAYLOADERS Y TOLVAS RECEPCION					
34	Capacidad Tolva Urea	3.4	m ³			
35	Capacidad Tolva N/Amonio	3.4	m ³			
36	Capacidad Cucharón Cargador	1.5	m ³			
37	Densidad en Bullo Urea	750	kg/m ³			
38	Densidad en Bullo N/Amonio	1100	kg/m ³			
39	Capacidad Tolva Urea	=+B34*B37	kg de Urea			
40	Capacidad Tolva N/Amonio	=+B35*B38	kg de Nitrato de Amonio			
41	Capacidad Cucharón Urea	=B36*B37	kg de Urea			
42	Capacidad Cucharón N/Amonio	=+B36*B38	kg de Nitrato de Amonio			
43	Veces llenado tolva Urea	=+C23/B39	llenados tolva urea / lote			
44	Veces llenado tolva N/Amonio	=C24/B40	llenados tolva n. amonio / lote			
45	Veces llenado cucharón urea	=+C23/B41	llenados cucharón urea / lote			
46	Veces llenado cucharón n.a.	=+C24/B42	llenados cucharón n. amonio / lote			
47	Total de cucharones	=+B46+B45	cargadas cucharón cargador/lote			
48	Tiempo por carga	2	minutos			
49	Tiempo de cargador frontal	=+B48*B47	minutos/lote			
50	...continuación ANEXO					
51						
52	TRANSPORTADOR DE TORNILLO, AGUA DE PROCESO Y VAPOR					
53	Capacidad tornillo urea	1800	kg/min			
54	Capacidad tornillo n/amonio	1800	kg/min			
55	Capacidad alimentación agua	500	kg/min			
56	Capacidad alimentación vapor	200	kg/min			
57	Tiempo carga urea	=+C23/B53	min/lote			
58	Tiempo carga n/amonio	=+C24/B54	min/lote			
59	Tiempo carga agua proceso	=+C22/B55	min/lote			
60	Tiempo carga vapor	=+C25/B56	min/lote			
61	Tiempo de carga total	=+B60+B59+B58+B57	min/lote			
62						
63						
64	MEZCLADO (incluye la operación de vaciado)					
65	Capacidad Cubica Mezclador	13200	lts			
66	Tamaño de lote en Mezclador	=+B16/B17	lts/lote			
67	Utilización de Capacidad Cubica	=+B66/B65				
68	Tiempo de Residencia	60	min/lote			
69	Capacidad de Mezclado	=(+B66*60)/(+B68*1000)	klts/hr			
70	Tiempo de Mezclado Diario	8	hr/dia			
71	Volumen de Mezclado Diario	=+B69*B70	kl/dia			
72	Volumen de Mezclado Diario	=+B71/(B108/1000)	cisternas/dia			
73						

	A	B	C	D	E	F
74	Factor limitante sist. prod.	$=+B68+B61$	min/lote			
75	Factor limitante sist. prod.	$=60*B66/(1000*B74)$	kits/hr			
76	Cap Hol (44 hr/sm, 50 sm/año)	$=+B75*44*50$	kits/año			
77	Cap Ins (22 h/día, 350 día/año)	$=+B75*22*350$	kits/año			
78						
79	CLARIFICACION PRIMARIA					
80	Clarificador/Capacidad	$=+H80*H16$	lts			
81	# de Clarificadores	3.5				
82	Clarificadores/Capacidad Total	$=+B80*B81$	lts			
83	Tiempo de Clarificación	4.5	hr			
84	Capacidad de Clarificación	$=+B82/(+B83*1000)$	kits/hr			
85	Tiempo de Clarificación/lote	$=+(1/B84)*60*B18/1000$	min/lote			
86	Tiempo de Clarificación Diario	24	hr/día			
87	Volumen Clarificación Diario	$=+B84*B86$	kit/día			
88	Volumen Clarificación Diario	$=+B87/(B108/1000)$	cisternas/día			
89						
90	CLARIFICACION SECUNDARIA					
91	Clarificador/Capacidad	$=+H91*H16$	lts			
92	# de Clarificadores	1				
93	Clarificadores/Capacidad Total	$=+B91*B92$	lts			
94	Tiempo de Clarificación	5.5	hr			
95	Capacidad de Clarificación	$=+B93/(+B94*1000)$	kits/hr			
96	Tiempo de Clarificación/lote	$=(60*B18)/(+B95*1000)$	min/lote			
97	Tiempo de Clarificación Diario	24	hr/día			
98	Volumen Clarificación Diario	$=+B95*B97$	kit/día			
99	Volumen Clarificación Diario	$=+B98/(B108/1000)$	cisternas/día			
100						
101	... continuación ANEXO					
102						
103	ALMACENAMIENTO					
104	Tanque Almacenamiento	$=+H104*H16$	lts			
105	Tanque Almacenamiento	$=+B104/B108$	cisternas			
106						
107	DESPACHO					
108	Cisterna, Capacidad	17200	lts/cisterna			
109	Velocidad de Carga	2250	lts/min			
110	Tiempo de Carga por Cisterna	$=+B108/B109$	min/cisterna			
111	# de Cisternas por Hora	$=1/(+B110/60)$	cisterna/hr			
112	Horas de carga diarias	12	hr/día			
113	# de Cisternas diarias	$=+B111*B112$	cisterna/día			
114	Volumen de Carga Diario	$=(+B113*B108)/1000$	kit/día			
115						
116						
117	CALDERA					
118	Calor requenido (de Tabla 2.7.2)	123444	kJ/Tm UAN			
119	Calor requerido	$=+B118*B17$	kJ/kit UAN			
120						
121	Temperatura de Cristalización	-2	°C			
122	Temperatura agua de proceso	50	°C			
123	Agua introducida	$=+B22*1000$	kg agua/Tm UAN			
124	Calor proporcionado por agua	$=+B123*B17*4.19*(B122-B121)$	kJ/Kit UAN			
125						
126	Calor necesario de vapor	$=+B119-B124$	kJ/Kit UAN			
127	Calor necesario de vapor	$=+B126*B69$	kJ/hr			
128						
129	Temperatura ambiente	25	°C			
130	Calor para calentamiento agua	$=+B123*B17*4.19*(B122-B129)/C132$	kJ/Kit UAN			
131		$=+B130*B69$	kJ/hr			
132	Factor de eficiencia =		0.8			
133						
134	Calor total del vapor	$=+B127+B131$	kJ/hr			
135	Potencia de la Caldera	$=+B134/(3600*9.809)/C136$	BHP			
136	Factor de eficiencia =		0.8			

