

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**MODELO DE CONTROL PREDICTIVO
MULTIVARIABLE EN AMBIENTE DELTAV PARA
MEJORAR U OPTIMIZAR EL SISTEMA DE BOMBEO EN
LA ESTACIÓN #1 LAGO AGRIO**

FRANKLIN EDILBERTO VERDEZOTO NUÑEZ

SANGOLQUI – ECUADOR

2007

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el proyecto de grado titulado:

**“MODELO DE CONTROL PREDICTIVO MULTIVARIABLE EN AMBIENTE
DELTA V PARA MEJORAR U OPTIMIZAR EL SISTEMA DE BOMBEO DE LA
ESTACION #1 LAGO AGRIO”**

Ha sido desarrollado en su totalidad por el señor **Franklin Edilberto Verdezoto Núñez**
con cédula de ciudadanía # 180345634-0, bajo nuestra dirección.

Ing. Rodolfo Gordillo
DIRECTOR

Ing. Alejandro Chacón
CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Quiero dar las gracias en primer lugar a mis directores de tesis, Ing. Rodolfo Gordillo e Ing. Alex Chacón, por su inapreciable ayuda y buenos consejos, no sólo con el tema de la tesis, y que ahora culminan con la presentación de este proyecto. A todos mis compañeros y amigos que tuve durante la carrera, por su desinteresada ayuda en todos los problemas que han ido surgiendo a lo largo de estos años, y por los buenos ratos que hemos pasado entre tanto.

A todos los compañeros de Petroecuador, quienes me ayudaron durante todo el desarrollo del proyecto de tesis, en especial al Ing. Manuel Villacís quien me brindó la oportunidad de desarrollar este tema para mi graduación.

En un aspecto más personal, debo dar las gracias a mi familia por aguantar y animar durante tanto tiempo a alguien que hace las cosas a su manera de verlas.

DEDICATORIA

- A MI FAMILIA -

PROLOGO

Aunque en el pasado podía considerarse que el único objetivo del control consistía en mantener una operación estable del proceso, actualmente las industrias se enfrentan a un mercado cambiante y difícil de predecir, lo que les obliga a operar sus procesos productivos en consonancia con la evolución del mercado para poder mantenerse competitivas y rentables.

La competencia en muchos sectores industriales así como el creciente interés social por los problemas medioambientales relacionados con los procesos de producción provoca la necesidad de disponer de técnicas fiables que permitan la operación del proceso con gran eficiencia y alto grado de flexibilidad.

Actualmente los sistemas de control en la industria de procesos deben satisfacer criterios económicos, asociados con el mantenimiento de las variables de proceso en sus referencias minimizando dinámicamente una función de coste de operación, criterios de seguridad y medioambientales, y de calidad en la producción, la cual debe satisfacer ciertas especificaciones sujetas a una demanda normalmente variable.

Por ello, se puede considerar que en la actualidad el objetivo de todo sistema de control consiste en actuar sobre las variables manipuladas de forma que puedan satisfacerse múltiples y cambiantes criterios de funcionamiento (económicos, de seguridad, medioambientales o de calidad) en presencia de cambios en las características del proceso.

El amplio abanico de metodologías actuales de control de procesos se enfrenta al cumplimiento de este objetivo. La diferencia entre las diversas técnicas radica básicamente en los compromisos hechos en la formulación matemática de los criterios de funcionamiento y en la elección de la manera de representar el proceso. La representación matemática de muchos de estos criterios se lleva a cabo en la forma de funciones objetivo dinámicas y de restricciones mientras que el proceso se representa como un modelo

dinámico con incertidumbres asociadas. La importancia de las incertidumbres está siendo cada vez más reconocida y por tanto incluida explícitamente en la formulación de los Controladores.

Las técnicas de Control Predictivo Basado en Modelo (Model Based Predictive Control, MPC) parecen constituir unas poderosas herramientas para afrontar estos retos. MPC, en su forma más general, acepta cualquier tipo de modelos, funciones objetivo o restricciones, siendo la metodología que actualmente puede reflejar más directamente los múltiples criterios de funcionamiento relevantes en la industria de procesos. Quizás sea ésta la principal razón del éxito de estas técnicas en numerosas aplicaciones de la industria de procesos, unida a que es la forma más general de formular el problema de control en el dominio del tiempo, de manera que puede resultar fácil de aceptar por el personal de la industria.

El éxito actual del MPC en la industria se debe a tres razones principales:

La incorporación de un modelo explícito del proceso en los cálculos permite al controlador tratar con todas las características importantes de la dinámica del proceso.

La consideración del comportamiento del proceso a lo largo de un horizonte futuro permite tener en cuenta el efecto de las perturbaciones en realimentación y *pre-*alimentación, permitiendo al controlador conducir la salida a la trayectoria de referencia deseada.

La consideración de restricciones en la fase del diseño del controlador evita en lo posible su violación, resultando en un control más preciso en torno al punto óptimo de operación. La inclusión de restricciones es quizás la característica que más distingue al MPC respecto a otras metodologías.

El presente proyecto básicamente se basa en la técnica de control avanzado llamada CONTROL PREDICTIVO MULTIVARIABLE o MPC, con la cual se puede desarrollar nuevos controladores que son de mucha utilidad en el campo industrial, esto es debido a su

fácil manejo, su configuración amigable con el usuario, además de su adecuado funcionamiento en ambientes peligrosos y extremas condiciones de operación.

El sistema de bombeo instalado en la estación Lago Agrio (SOTE) manejaba solamente una variable para su control sin tomar en cuenta el resto de variables que se encuentran interactuando en el sistema, por esta razón, la idea principal del proyecto fue diseñar un nuevo controlador en el cual se pueda obtener una respuesta del proceso con todas las variables de la planta para determinar su real funcionamiento.

La tesis permite explorar computacionalmente la confiabilidad y la eficiencia del MPC para los sistemas de tiempo real, el término MPC describe una serie de algoritmos de control por computadora que controla el futuro comportamiento de la planta a través del uso explícito de un modelo del proceso. Para ello se vale de la ayuda de la herramienta DeltaV y la aplicación DeltaV Predict con las cuales se puede llegar a diseñar este tipo de controladores multivariables cuyo funcionamiento es el siguiente: En cada intervalo de control el algoritmo MPC computa una secuencia de ajustes de la variable manipulada en lazo abierto para optimizar el comportamiento de la planta, la primera entrada en la secuencia óptima es inyectada dentro de la planta y la total optimización es repetida en los siguientes intervalos de control haciendo que se tenga un control MPC por modos deslizante.

INDICE

CAPITULO 1 : INTRODUCCIÓN

1.1	Introducción	– 1 –
1.1.1	Sistemas de Control.....	– 4 –
1.1.2	Tipos de Sistemas de Control.....	– 5 –
1.1.3	Comparación de los Sistemas de Control.....	– 6 –
1.2	Resumen Histórico de Modelo de Control Predictivo	– 7 –
1.3	Tipos de Sistemas de Control en Tiempo Real	– 9 –
1.3.1	Características de los sistemas de tiempo real.....	– 9 –
1.3.2	Los sistemas de tiempo real y el análisis de sus requerimientos.....	– 11 –
1.3.3	Tipos de Sistemas de Control en Tiempo Discreto	– 12 –
1.4	Objetivos y Estructura de la Tesis	– 15 –
1.4.1	Motivación.....	– 15 –
1.4.2	Objetivos.....	– 17 –
1.4.3	Estructuración de Contenidos.....	– 18 –

CAPITULO 2: ESTUDIO DE LOS MODELOS DE CONTROL

2.1	Introducción	– 20 –
2.2	Modelos de Control de Procesos	– 21 –
2.2.1	Síntesis de los Modelos de Control	– 22 –

2. 2. 2	Los Sintonización de los Parámetros e un Sistema de Control.	– 24 –
2. 3	Análisis de Estabilidad y Robustez	– 26 –
2. 3. 1	Estabilidad en MPC	– 26 –
2. 3. 2	MPC Robusto.	– 28 –
2. 3. 3	Ventajas y Desventajas del Modelo de Control Predictivo	– 29 –
2. 4	Control Predictivo Basado en Modelos	– 31 –
2. 4. 1	Sñintesis de los controladores Predictivos	– 31 –
2. 4. 1. 1	Modos del Bloque MPC	– 32 –
2. 4. 2	Validación de Modelos	– 33 –
2. 4. 2. 1	Inspección de validaciones de errores para todas las salidad	– 34 –
CAPITULO 3: DESCRIPCION DE LAS CARACTERISTICAS DEL MODELO DE CONTROL PREDICTIVO		
3. 1	Introducción	– 37 –
3. 1. 1	Características del Modelo de Control Predictivo	– 38 –
3. 1. 2	Componentes del MPC	– 39 –
3. 1. 3	Estrategia de los controladores	– 39 –
3. 2	Elementos Básicos de MPC	– 41 –
3. 2. 1	Modelos de Predicción	– 41 –
3. 2. 2	Modelos del Proceso	– 42 –
3. 2. 3	Función Objetivo	– 45 –
3. 2. 4	Restricciones	– 45 –
3. 2. 5	Obtención de la Ley de Control	– 46 –

3.3 Modelo de las Perturbaciones.....	– 47 –
3.3.1 Dynamic Matriz Control.....	– 47 –
3.3.2 Algoritmo de Control.	– 49 –
3.3.3 Restricciones en MPC	– 49 –
3.4 Control Predictivo Generalizado	– 50 –
3.4.1 Formulación del Control Predictivo Generalizado.....	– 50 –
3.4.2 Caso Multivariable	– 52 –
 CAPITULO 4: DISEÑO DEL MODELO DE CONTROL PREDICTIVO	
4.1 Introducción.....	– 54 –
4.1.1 Técnicas de Diseño de MPC.....	– 55 –
4.2 Método de MPC	– 56 –
4.2.1 Método de Bristol	– 60 –
4.2.2 Interpretación de RGA	– 62 –
4.3 Estudio de la Herramienta MPC y la Aplicación DeltaV Predict	– 63 –
4.3.1 Descripción de la Herramienta DeltaV Predict	– 63 –
4.3.2 Herramientas.....	– 64 –
4.3.3 Características.....	– 65 –
4.3.4 Beneficios	– 65 –
4.4 Bloque de Función Modelo de Control Predictivo MPC	– 66 –
4.4.1 Bloque MPC y su Cableado	– 67 –

CAPITULO 5: IMPLEMENTACION DEL CONTROLADOR MPC

5.1	Introducción	70	–
5.1.1	Sistemas de Control actual	71	–
5.1.2	Unidades de Bombeo.....	72	–
5.2	Resolución del Problema	74	–
5.2.1	Análisis de Software y Hardware.	75	–
5.2.1.1	Arquitectura DeltaV	76	–
5.2.1.2	Interfaz de Operación con el Operador	76	–
5.2.1.3	Hardware de control DeltaV.....	76	–
5.2.1.4	Software DeltaV	76	–
5.2.1.5	Comunicación con Instrumentos	77	–
5.2.1.6	Seguridad en Ambientes Peligrosos.	78	–
5.2.2	Estación de Trabajo.	78	–
5.2.3	Red de Control.....	78	–
5.2.4	Controlador M5 Plus DeltaV.....	79	–
5.3	Control Studio DeltaV	81	–
5.4	Implementación en la Estación Lago Agrio	81	–
5.4.1	Programación del MPC	81	–
5.4.2	Simulación y Pruebas Preliminares Realizadas.....	83	–
5.4.3	Implementación	85	–
5.5	Necesidades Futuras	91	–
5.5.1	Revisión de aplicaciones futuras en las estaciones de bombeo Lumbaqui, El Salado, Baeza, Papallacta	92	–

CAPITULO 6: MPC Y SU COMPARACIÓN CON EL MPC NO LINEAL

6.1	Introducción	– 94 –
6.1.1	MPC no lineal (NMPC).....	– 95 –
6.1.2	Diferencial respecto al Método Lineal.....	– 97 –
6.1.3	Fundamnetos Teóricos de NMPC	– 99 –
6.1.4	Aplicaciones de NMPC	– 100 –
6.2	Implementaciones Industriales de NMPC	– 100 –
6.2.1	Problemática Asociada al NMPC	– 101 –
6.2.1.1	Resolución	– 101 –
6.2.1.2	Estabilidad de la solución.....	– 102 –

CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1	Conclusiones	– 105 –
7.2	Recomendaciones	– 108 –
	BIBLIOGRAFIA	– 110 –
	ANEXOS	– 112 –
	INDICE DE FIGURAS	– 157 –
	INDICE DE TABLAS	– 160 –
	GLOSARIO	– 161 –

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La Gerencia de Oleoducto, es la entidad encargada de transportar el crudo proveniente de los campos del Oriente a través de Sistema de Oleoducto Trans Ecuatoriano (SOTE). Para ello utiliza una tubería que presenta especificación API 5LX 60. Cuenta con una extensión de 497,7kilómetros; con un diámetro de 26pulgadas en 429,4kilómetros (desde Lago Agrio hasta San Juan y desde Santo Domingo hasta Balao) y 68,2kilómetros (desde la estación San Juan hasta Santo Domingo) con un diámetro de 20pulgadas. El ducto de acero cruza la cordillera de los Andes y llega hasta una altura máxima de 4.096metros, cerca de la virgen en Papallacta¹.

CAPACIDAD DE BOMBEO:

360 000 BPPD para crudo de 23,7° API

390 000 BPPD para crudo de 23,7° API, utilizando químico reductor de fricción

CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO:

2 000 000 Barriles en Lago Agrio

3 220 000 Barriles en el Terminal Marítimo de Balao

Volumen Transportado hasta (10 de Octubre de 2006) à 3 500 000 000 Barriles

Para lograr el objetivo de transportar el petróleo almacenado en Lago Agrio hasta el Terminal marítimo de Balao, se cuenta con 6 estaciones de bombeo (tabla 1.1) y 4

¹ Fuente: Gerencia De Oleoducto (SOTE), Dirección Nacional de Hidrocarburos

estaciones reductoras (Tabla 1.2), donde podemos observar las características de ubicación, altitud y potencia que cada una de las estaciones ofrece para mantener el bombeo.

<i>ESTACION</i>	<i>UNIDADES DE BOMBEO</i>	<i>UBICACIÓN (Km.)</i>	<i>ALTITUD (msnm)</i>	<i>POTENCIA (Hp)</i>
Lago Agrio	8	0.00	597	20 000
Lumbaqui	7	66.57	850	17 500
El Salado	7	11.72	1 289	12 950
Baeza	7	164.08	2 002	20 300
Papallacta	7	189.29	3 009	20 300
Quininde	3	420.25	97	12 600
TOTAL (Hp)				103 650

Tabla 1. 1 Estaciones de Bombeo SOTE

<i>ESTACION</i>	<i>UBICACIÓN (Km.)</i>	<i>ALTITUD (msnm)</i>
San Juan	261.68	3 497
Chiriboga	273.62	1 998
La Palma	295.96	1 613
Santo Domingo	329.87	566

Tabla 1. 2 Estaciones reductoras de Presión SOTE

Las estaciones ubicadas en el Oriente (Lago Agrio, Lumbaqui, El Salado, Baeza y Papallacta) tienen 7 unidades de bombeo en paralelo, mientras que la estación de Quininde tiene 3 unidades de bombeo en serie. Además, las estaciones cuentan con: sala de control, tanques de almacenamiento de combustible, sistemas de generación eléctrica, sistema contra incendios, sistema de comunicaciones y campamento.

En Lago Agrio se dispone de bodega, taller de mantenimiento, laboratorio de lubricantes y bombas booster. La estación de Lumbaqui es la encargada de coordinar con Lago Agrio la inyección en el kilómetro 51 de la producción de las compañías TECPEC y LUMBAQUI OIL; y Baeza la inyección de la producción del bloque 10 (compañía AGIP OIL), en el kilómetro 151.

La figura 1.1 Presenta un diagrama de la geografía que el oleoducto debe atravesar, de oriente a occidente por la Cordillera de Los Andes, es por esta razón que necesita de lo

mostrado en las tablas 1.1 y 1.2, además de un Terminal y un puerto marítimo en Esmeraldas, (figura 1.2)

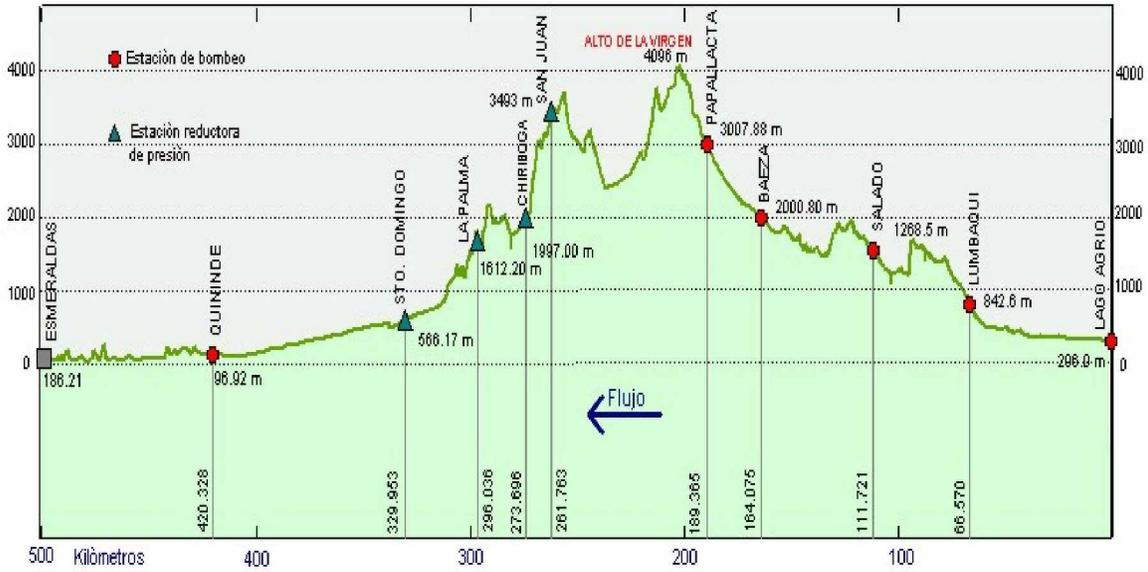


Figura. 1. 1 Perfil del Oleoducto Trans Ecuatoriano

TERMINAL MARÍTIMO DE BALAO



Figura. 1. 2 Vista de Tubería de la Estación #11, Terminal Balao

Estación # 11, Balao, es la terminación del SOTE, responsable de recibir el crudo del oriente, almacenarlo, coordinar la operación de recepción de crudo de la Refinería de Esmeraldas y embarcar el crudo para su exportación.

El ECUADOR exporta su crudo Oriente desde el Puerto marítimo de Balao - Esmeraldas. La calidad del crudo es de aproximadamente 25.0° API y 1.2% de contenido de azufre en peso.

EL ECUADOR alcanza una producción aproximada de 432.800 BPPD de petróleo crudo, volumen que comprende la producción de Petroproducción, Compañías de Servicios y Compañías de Participación. De este volumen aproximadamente 423.500 BPPD son bombeados desde Lago Agrio (en el Oriente Ecuatoriano) hasta la provincia de Esmeraldas (Costa Ecuatoriana) y Tumaco en Colombia, a través de dos oleoductos: Sistema de Oleoducto Transecuatoriano – SOTE y Oleoducto Transandino – OTA.

PETROECUADOR bombea a través del SOTE hasta Esmeraldas, aproximadamente 378.500 BPPD de Crudo Oriente, los mismos que son distribuidos de la siguiente manera: 157.000 BPPD para procesamiento en Refinería de Esmeraldas y 221.500 BPPD para exportación tanto de PETROECUADOR como de las compañías que mantienen Contratos de Participación, volumen estimado para exportación durante el año 2001. Los 45.000 BPPD restantes son bombeados a través del OTA de Colombia hacia el Terminal de Tumaco – Colombia. Este petróleo crudo mediante cabotajes es transportado hacia la refinería La Libertad, Provincia del Guayas.

1. 1. 1 Sistemas de Control

El control es un proceso mediante el cual la administración se cerciora si lo que ocurre concuerda con lo que teóricamente debería ocurrir, de lo contrario, será necesario que se hagan las correcciones para lograrlo. En un sistema de control general se tiene varias entradas que provienen del sistema a ser controlado (planta), y se diseña un sistema para que, a partir de éstas entradas, modifique ciertos parámetros en el sistema planta, con lo que las señales anteriores volverán a su estado normal ante cualquier cambio o variación que sufran [7]. El resto de señales que influyen en la evolución de las salidas pero no pueden ser manipuladas por el observador se denominan *perturbaciones*. (Figura 1.3).

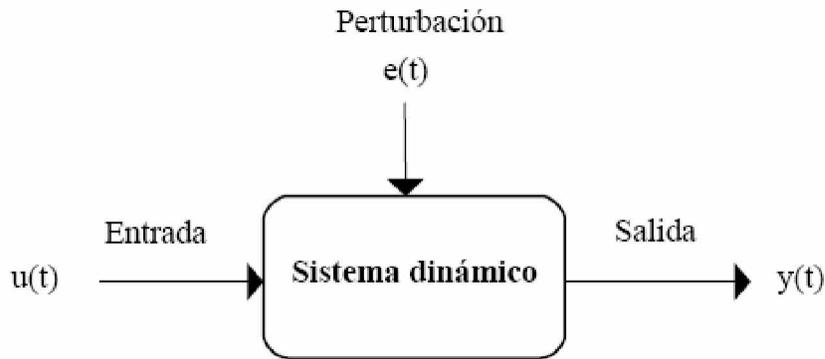


Figura. 1.3 Diagrama de un sistema básico de control

Existen varias clasificaciones dentro de los sistemas de control. Así por ejemplo de acuerdo a su naturaleza son analógicos, digitales o mixtos; por a su estructura (número de entradas y salidas) pueden ser control clásico o control moderno; y atendiendo a su diseño pueden ser por lógica difusa, redes neuronales, controles predictivos, etc.

1. 1. 2 Tipos de Sistemas de Control

Los sistemas pueden ser agrupados según características de las variables involucradas al sistema, y dependiendo de éstas, las mismas darán lugar al uso de distintos tipos de ecuaciones que serán usadas por sus respectivos modelos [10]. La clasificación se lista según los siguientes criterios se presentan en la tabla 1.3:

Criterio	Clasificación
Característica espacial	Concentrados / Distribuidos
Continuidad en la variable tiempo	Continuo / Discreto / Híbridos
Cuantización de la variable dependiente	No-cuantizados / Cuantizados
Variación en los parámetros	Parámetros fijos / Parámetros variables
Propiedad de superposición	Lineal / No-lineal
Intervención de proceso aleatorio	Estocástico / Determinístico

Tabla. 1.3 Tipos Sistemas de Control

Uno de los principales sistemas de control creados por el hombre es el controlador PID, pues ofrece grandes ventajas al control de procesos, los PID son los tipos de dispositivos de electrónica de control cuya tecnología intenta mantener su salida en un nivel predeterminado.

¿Cómo se logra? Para mantener una salida constante en el valor deseado, el controlador mide la salida y controla la entrada (sensor) y aplica modelos matemáticos a la diferencia de las dos, ésta diferencia se denomina **error** (desviación existente entre el punto de control y el punto de ajuste ó “Setpoint”). Luego éste es tratado después en tres diferentes maneras simultáneas [6].

Entre los principales tipos de sistemas de control diseñados por el hombre se encuentran mostrados en la Tabla 1.4:

Tipo	Característica
Control de Dos Posiciones	-
Control Proporcional	$m(t) = K_c \cdot e(t)$
Control Integral	$m(t) = \frac{K_c}{T_i} \int e(t) \cdot d(t)$
Control Derivativo	$m(t) = K_c \cdot T_d \frac{d}{d(t)} e(t)$
Control PID	$m(t) = K_c \left[1 + \frac{1}{T_i} \int d(t) + T_d \cdot \frac{d}{d(t)} \right] e(t)$

Tabla. 1.4 Sistemas de Control Diseñados por el Hombre

1. 1. 3 Comparación de los Sistemas de Control

El uso de los diferentes tipos de control, es siempre conforme a las características del proceso, lo cual significa que se debe entender bien la operación del proceso antes de

automatizarlo y proceder a las rutinas de los algoritmos de control, pues sólo así se tendrá un adecuado funcionamiento de la planta, por ejemplo:

El control de dos posiciones o control “On-Off”, es un caso especial del control proporcional aplicable solamente a un proceso estático, ya que la ganancia del On-Off es infinita ($B. P. = 0$). Cuando solo se desea dar estabilidad al proceso, el modo proporcional es suficiente.

Por esta razón el control proporcional tiene la desventaja de producir un error en estado estacionario (stand by response), y para corregirlo es necesario hacerlo integrando el error. Siendo I la denominada constante de integración que representa la ganancia con la que el **modo integral** contribuye al controlador. ¿Cuándo aplicar la **acción derivativa**?, cuando existe un cambio de carga y no se puede esperar a que la acción integral corrija el error por sí sola, entonces se mide la velocidad con la que se produce el error y el controlador responderá con la rapidez necesaria para evitar que el error aumente.

1. 2 Resumen Histórico de Modelo de Control Predictivo

El Modelo de Control Predictivo o MPC se desarrollo en base a dos líneas básicas, por un lado primero, a finales de los años setenta surgieron diversos algoritmos que usaban explícitamente un modelo dinámico del proceso para predecir el efecto de las acciones de control futuras en la salida, las cuales eran determinadas minimizando el error predicho sujeto a restricciones de operación. La optimización se repetía en cada instante de muestreo con información actualizada del proceso. Estas formulaciones eran de naturaleza heurística² y algorítmica e intentaban aprovechar el creciente potencial de los computadores digitales por aquella época.

Rápidamente el MPC adquirió gran popularidad en las industrias de procesos químicos principalmente debido a la simplicidad del algoritmo y al uso del modelo de respuesta impulsional o en escalón, que aunque posea muchos más parámetros que las

² En algunas ciencias, manera de buscar la solución de un problema mediante métodos no rigurosos, como por tanteo, reglas empíricas, etc.

formulaciones en el espacio de estados o función de transferencia suele ser preferido por ser intuitivo y necesitar menos información *a priori* para identificar. La mayoría de las aplicaciones fueron llevadas a cabo sobre sistemas multivariables. Los algoritmos utilizados fueron principalmente el IDCOM (Identification-Command) y el DMC (Control con Matriz Dinámica, *Dynamic Matrix Control*).

Independientemente fue surgiendo otra línea de trabajo en torno a las ideas del control adaptativo, desarrollando estrategias esencialmente para procesos monovariables formuladas con modelos entrada/salida. En este contexto se extendieron las ideas del Controlador de Mínima Varianza y se desarrolló el Control Predictivo Generalizado (*Generalized Predictive Control GPC*) que es uno de los métodos más populares en la actualidad.

El MPC, tiene también sus inconvenientes. El principal es que, aunque su implementación no es compleja, resulta más difícil que la de los clásicos controladores PID. Si la dinámica del proceso no cambia y no existen restricciones, la mayor parte de los cálculos se puede realizar fuera de línea y el controlador resultante es simple, pudiéndose aplicar a procesos de dinámicas rápidas; donde, los requisitos de cálculo son mucho mayores. Aunque hay que decir que debido a la potencia de los computadores actuales esto no es realmente una dificultad insalvable. La mayor dificultad que presenta para su aplicación es la necesidad de un modelo apropiado del proceso cuya obtención requiere unos conocimientos mínimos de control. El control predictivo ha demostrado ser en la práctica una estrategia razonable de control y ha sido aplicado con éxito a numerosos procesos industriales.

La evolución que han sufrido en los últimos años los principales problemas de control para los usuarios se muestran en la tabla 1.5. En la cual se observa que los tres primeros problemas siguen siendo los mismos en los tres años, en la actualidad igual, pues a lo largo del tiempo se resuelven problemas básicos como estabilidad y tiempos de respuesta, y se atacan problemas más difíciles como dinámicas y no – linealidad. El Control Predictivo es una metodología capaz de ofrecer soluciones a todos estos tipos de problemas.

1 983	(%)	1 989	(%)	1 995	(%)
Retardo	24	Retardo	23	Interacción	24
Perturbaciones	21	Interacción	16	Perturbaciones	22
Interacción	17	Perturbaciones	15	Retardo	21
Respuesta	16	Cambios	12	Cambios	14
Estabilidad	11	No - Lineal	10	No – Lineal	7

Tabla 1.5 Principales problemas de Control

1.3 Tipos de Sistemas de Control en Tiempo Real

Existen muchas definiciones de “Tiempo Real”, muchas de ellas contradictorias. Desafortunadamente el tema es controversial, y no parece haber algún acuerdo al 100% sobre la terminología. Así por ejemplo: “Un sistema de tiempo real es aquel en el que para que las operaciones computacionales estén correctas no depende solo de que la lógica e implementación de los programas computacionales sean correctos, sino también en el tiempo en el que dicha operación entregó su resultado. Si las restricciones de tiempo no son respetadas el sistema se dice que ha fallado.”; – definición canónica de sistema de tiempo real por Donald Gillies.

En algunas ocasiones se puede ver referencias sobre sistemas de tiempo real cuando solo se quiere decir que el sistema es rápido. “Tiempo Real” no es sinónimo de rapidez; esto significa que no es la latencia de la respuesta lo que enfoca en un sistema de tiempo real (esta latencia a veces esta en el orden de los segundos), el punto de vista en tiempo real de la latencia es el asegurarse de que la latencia del sistema es la suficiente para resolver el problema que al cual el sistema está dedicado [3].

1.3.1 Características de los sistemas de tiempo real

- **Determinismo**

El determinismo es una cualidad clave en los sistemas de tiempo real. Es la capacidad de determinar con una alta probabilidad, cuanto es el tiempo que se

toma una tarea en iniciarse. Esto es importante porque los sistemas de tiempo real necesitan que ciertas tareas se ejecuten antes de que otras puedan iniciar.

Esta característica se refiere al tiempo que tarda el sistema antes de responder a una interrupción. Este dato es importante conocer puesto que casi todas las peticiones de interrupción se generan por eventos externos al sistema.

- **Responsividad**

La Responsividad se enfoca en el tiempo que se tarda una tarea en ejecutarse una vez que la interrupción ha sido atendida. Los aspectos a los que se enfoca son:

- La cantidad de tiempo que se lleva el iniciar la ejecución de una interrupción
- La cantidad de tiempo que se necesita para realizar las tareas que pidió la interrupción.

- **Confiabilidad**

El sistema no debe de ser solamente libre de fallas pero más aun, la calidad del servicio que presta no debe de degradarse más allá de un límite determinado. El sistema debe de seguir en funcionamiento a pesar de catástrofes, o fallas mecánicas. Usualmente una degradación en el servicio en un sistema de tiempo real lleva consecuencias catastróficas

- **Operación a prueba de fallas duras (Fail soft operation)**

El sistema debe de fallar de manera que: cuando ocurra una falla, el sistema preserve la mayor parte de los datos y capacidades del sistema en la máxima medida posible, es decir que si para el sistema es imposible cumplir con todas las tareas sin exceder sus restricciones de tiempo, entonces el sistema cumplirá con las tareas más críticas y de más alta prioridad.

1.3.2 Los sistemas de tiempo real y el análisis de sus requerimientos.

Debido a que los sistemas de tiempo real tienen características especiales diferentes a los demás tipos de sistemas y que los sistemas operativos de tiempo real relegan a sus usuarios el cumplimiento de sus **requerimientos**, éstos deben de tomarse en cuenta en el proceso de desarrollo. Sin embargo, como estos requerimientos no forman parte de una sola funcionalidad del sistema sino que forman parte de todo el sistema a menudo se definen como “**requerimientos no funcionales**”.

También se argumenta que como no son parte de la aplicación sino que es como se comporta una aplicación al introducirse en un ambiente de tiempo real entonces estos son una “**Característica del sistema**”, más que un requerimiento. Al ser parte de todo el sistema son una característica del sistema más que un requerimiento, pues una característica es algo que ya esta en el sistema y que no puede ser calificada como errónea o correcta, y una restricción deberá de ser cumplida siempre y la forma en que estas restricciones se cumplen puede ser validadas como errónea o correcta. Por lo que estas restricciones tampoco son una característica del sistema.

Tipos de sistemas en Tiempo Real

Cíclicos

- sólo actividades periódicas
- carga computacional y recursos casi constantes
- ejemplos: control digital, SCADA

Predominantemente cíclicos

- la mayoría de las actividades son periódicas
- pero hay también actividades aperiódicas
- ejemplos: aviónica, control de procesos

Asíncronos y previsibles

- la mayoría de las actividades son aperiódicas

- la carga es variable, pero se puede modelar
- ejemplos: multimedia, radar

Asíncronos e imprevisibles

- ejemplo: sistemas de control inteligentes

1.3.3 Tipos de Sistemas de Control en Tiempo Discreto

Una *señal en tiempo continuo* es aquella que se define sobre un intervalo continuo de tiempo. Una *señal analógica* es un ejemplo de ésta, pues es una señal definida en un intervalo continuo de tiempo cuya amplitud puede adoptar un intervalo continuo de valores. En cambio, una *señal en tiempo discreto* es una señal definida sólo en valores discretos de tiempo (Figura 1.4).

En una señal en tiempo discreto, si la amplitud puede adoptar valores en un intervalo continuo, entonces la señal se denomina *señal de datos muestreados*. Una señal de datos muestreados se puede generar muestreando una señal analógica en valores discretos de tiempo [4].

Los **sistemas de control en tiempo Discreto** (Figura. 1.5) son aquellos sistemas en los cuales una o más variables pueden cambiar sólo en valores discretos de tiempo. Estos instantes, se denotarán mediante kT ($k=0, 1, 2, \dots$), donde ($T =$ periodo de muestreo), pueden especificar los tiempos en los que se lleva a cabo alguna medición de tipo físico, o los tiempos en los que se extraen los datos de la memoria de una computadora digital.

En un sistema de control en tiempo discreto, una ecuación en diferencias lineal con coeficientes constantes caracteriza la dinámica del sistema, relacionando la entrada con la salida. Si se quiere determinar la respuesta del sistema a una entrada dada, hay que resolver dicha ecuación en diferencias. Para ello se utiliza el método de la Transformada Z, transformando las ecuaciones en diferencias lineales e invariantes en el tiempo en

ecuaciones algebraicas en el plano z (la variable compleja). De igual manera, para sistemas continuos la transformada de Laplace transforma las ecuaciones diferenciales en ecuaciones algebraicas en s (variable compleja) [10].

Los sistemas de tiempo discreto difieren de los de tiempo continuo, en que las señales para un sistema de tiempo discreto, aparecen en forma de datos muestrales. En la práctica, se presentan los sistemas de tiempo discreto, cuando se obtienen las mediciones necesarias para el control en forma intermitente o cuando se comparte un control de gran envergadura o computadora entre diversas plantas, de manera que se envía una señal de control a cada planta sólo periódicamente o siempre que se utiliza una computadora tal para realizar los cálculos necesarios para el control.

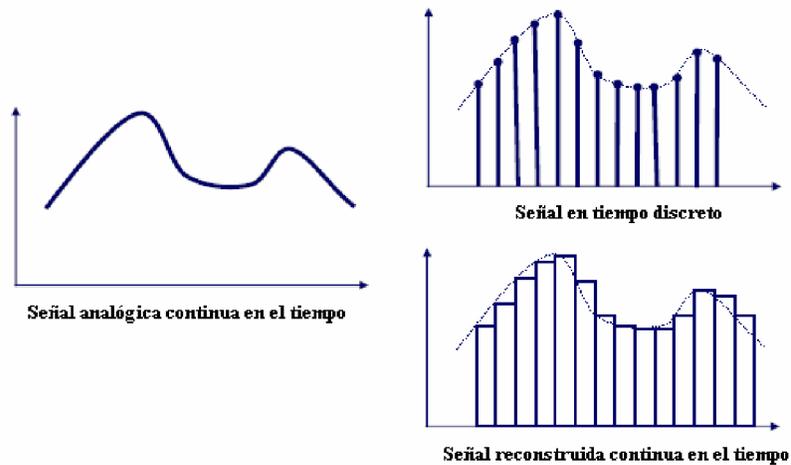


Figura. 1.4 Señales en tiempo Continuo y Discreto

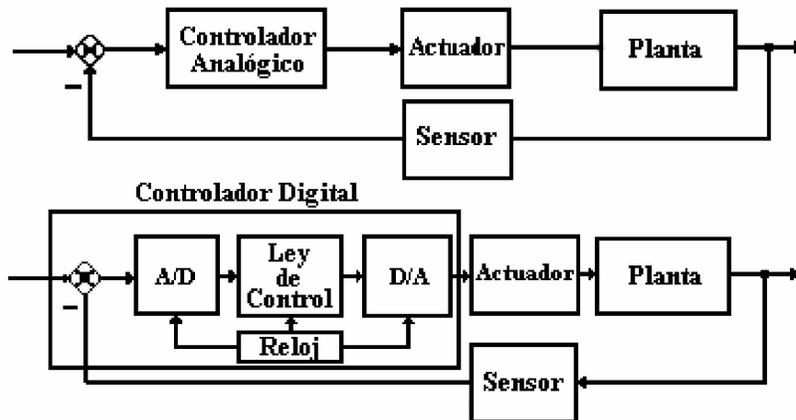


Figura. 1.5 Diagrama de sistema de control Discreto

Se llama **sistema de control en tiempo discreto** a cualquier algoritmo que permite transformar una secuencia de entrada en una de salida, en donde la secuencia es un conjunto ordenado de valores, cada valor esta definido por un **índice** que pertenece a los números enteros [12].

$$x(t) \Rightarrow \{x_k\} \quad (1.1)$$

Donde:

x_k , resultado de muestrear $x(t)$

k , índice de muestras

$\{\dots\}$, representación analítica de una secuencia (Figura. 1.4).

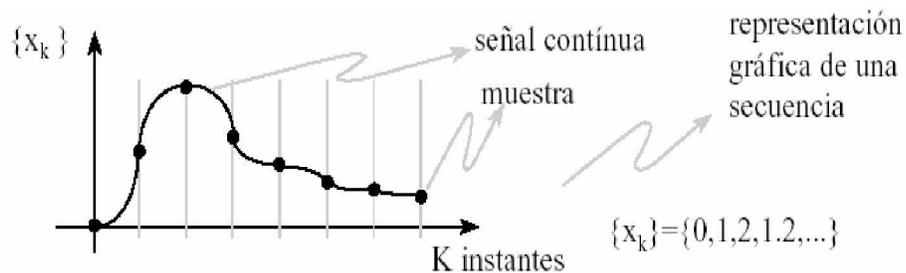


Figura 1.6 Representación Gráfica de una secuencia

Existen muchas formas de representar a cada una de los diferentes sistemas de control discreto, para lo cual se utiliza diferentes secuencias, entre las principales secuencias patrón con las cuales se pueden representar a los sistemas se encuentran: la secuencia impulso unitario, escalón unitario, rampa unitaria, parábola unitaria, (**Figura 1.7**).

Tipos de sistemas en Tiempo Discreto

Sistema Discreto Estático

- Los elementos de $\{y_k\}$ sólo dependen del elemento del mismo índice de $\{x_k\}$, es decir se tiene:

$$y_k = \{x_k\}^2 \quad (1.2)$$

Sistema Discreto Dinámico

- Los elementos de $\{y_k\}$ dependen de cualquier índice de $\{x_k\}$ e $\{y_k\}$.

$$y_k = \sum_{i=-\infty}^{\infty} x_i b_{k-i} - \sum_{\substack{j=-\infty \\ j \neq k}}^{\infty} y_j a_{k-j} \quad (1.3)$$

$$y_k = \{x_k\}^2 + \{x_{k-1}\} + \{y_{k+1}\} \quad (1.4)$$

Sistema Dinámico Causal

- Los elementos de $\{y_k\}$ dependen de los elementos de igual índice o inferior de $\{x_k\}$ e $\{y_k\}$.

$$y_k = \sum_{i=-\infty}^k x_i b_{k-i} - \sum_{j=-\infty}^{k-1} y_j a_{k-j} \quad (1.5)$$

Ej. $y_6 = f(y_5, y_4, y_3, y_2, y_1, x_5, x_4, x_3)$, es decir solo de la historia pasada

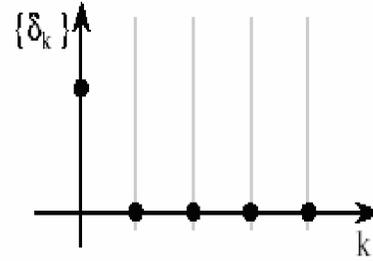
1.4 Objetivos y Estructura de la Tesis

1.4.1 Motivación

El campo de control de procesos y esencialmente del control predictivo se lo puede estudiar desde dos puntos de vista: el control predictivo de sistemas lineales y de sistemas no lineales. La facilidad y sencillez de tratamiento de los sistemas lineales y la existencia de herramientas eficientes de análisis hicieron que esta área tomase un protagonismo inicial. Sin embargo, con la incorporación de restricciones en el controlador hace que el sistema en bucle cerrado sea no lineal, por lo que estas herramientas de análisis dejaron de ser útiles y aparecieron nuevas técnicas para su control.

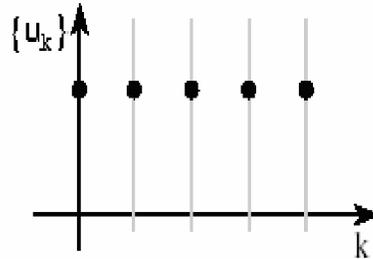
- Sec. impulso unitario:

- $\{\delta_k\} = \{1, 0, 0, 0, \dots\} = \delta_k$
- $k = 0, 1, 2, 3, \dots$



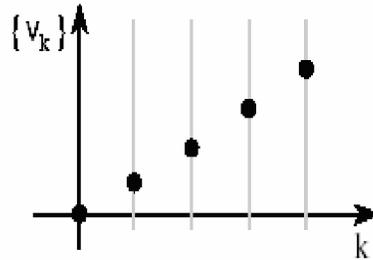
- Sec. escalón unitario:

- $\{u_k\} = \{1, 1, 1, 1, 1, \dots\} = 1_k$
- $k = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$



- Sec. rampa unitaria:

- $\{v_k\} = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots\} = k$
- $k = 0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots$



- Sec. parábola unitaria:

- $\{p_k\} = \{0, 1, 4, 9, 16, \dots\} = k^2$
- $k = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$

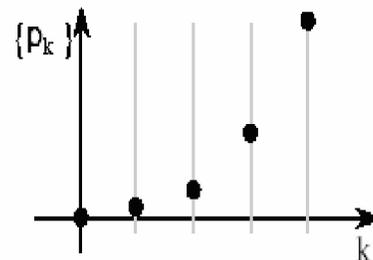


Figura. 1.7 Secuencias patrón

El SMC (siglas en inglés Sliding Mode Control), Control por Modo Deslizante, es en general un controlador que proporciona respuestas con buenas características cuando existen incertidumbres de modelado, aunque su comportamiento se deteriora cuando se aplica a sistemas con grandes retardos, frecuentes en la industria, o sistemas modelados con incertidumbres en la estimación de la ganancia del proceso. La formulación básica del control predictivo puede hacer frente a sistemas con grandes retardos pero **la ley de control depende del modelo** y por tanto puede ser muy sensible a incertidumbres, sobre todo en la estimación del retardo.

La posibilidad de encontrar un controlador que proporcione respuestas rápidas, con poca sobre oscilación, además de robustas ante incertidumbres y aplicable a procesos reales con grandes retardos ha sido la motivación principal de esta tesis. La sencillez al momento de implementar y su ajuste, es otra característica deseada de los controladores industriales, es por ello que se empleó el modelo de control predictivo MPC, para el desarrollo de las estrategias de control.

Por otra parte, la estrategia predictiva nos proporciona herramientas para encontrar un control óptimo incluso en presencia de restricciones, las cuales no pueden ser contempladas en la teoría, los conceptos de la predicción con que aporta el control GPC pueden mejorar el desempeño de los controladores MPC, esto ha constituido la motivación específica para el desarrollo de ésta tesis.

En el hacer uso de una de las nuevas herramientas presentes el mundo actual como lo es el MPC DeltaV Predict para realizar un control robusto y de mucha utilidad para el desarrollo del ámbito petrolero y de todo un país se enmarca la investigación fruto de la cual ha surgido esta tesis, cuyos objetivos se detallan a continuación.

1.4.2 Objetivos

El objetivo de esta tesis se puede situar en la profundización en el conocimiento de la estabilidad y robustez de los controladores predictivos de sistemas lineales y no-lineales, El análisis llevado a cabo se fundamenta en la teoría de MPC que provee el soporte teórico para comprender en profundidad la estabilidad del modelo de control predictivo, con o sin incertidumbres, en presencia de perturbaciones medibles.

Los principales objetivos en la realización de esta tesis son los siguientes:

- Ø Desarrollar un sistema de control robusto para el sistema de bombeo de crudo en la estación #1 Lago Agrio, con la ayuda de herramientas como MPC DeltaV Predict trabajado en un ambiente DeltaV.

- Ø Estudiar las características de las condiciones en las que se desempeñan los sistemas instalados. Comprender los problemas que presentan en los sistemas de control presentes y con la ayuda del nuevo controlador evitarlos.
- Ø Verificar el mejoramiento de la Planta al utilizar este modelo de control diseñado, obteniendo un modelo que permita un adecuado funcionamiento de todo el sistema.
- Ø Mejorar la respuesta del sistema ante cambios bruscos de valores de variables mediante el conocimiento funcional de las mismas que se encuentran inmersas en el proceso.
- Ø Encontrar estructuras de control basadas en MPC aplicables a la mayoría de los procesos industriales, así obtener una mayor eficiencia en el controlador.

1.4.3 Estructuración de Contenidos

El contenido de la tesis se encuentra distribuido básicamente en seis Capítulos.

- § *Capítulo I*, en el cual se presenta como se desarrolla el sistema de bombeo desde la estación #1 ubicada en Lago Agrio hasta la estación #11, que es la finalización del bombeo, los sistemas de control y sus diferentes tipos, control tradicional, además una breve reseña histórica de MPC (Modelo de Control Predictivo) con sus avances alcanzados hasta la actualidad, también los objetivos y motivaciones que llevaron al desarrollo de ésta tesis, su estructura en capítulos sin descartar las distintas metodologías relacionadas con el contenido de ésta tesis.
- § *Capítulo II* se describe una breve introducción a los modelos de control existentes, tipos de modelos de control y una breve visualización de los parámetros de sintonización, así también, se proponen ciertas reglas de sintonización de los mismos para luego realizar análisis de robustez, estabilidad de los sistemas de control, terminando con una síntesis general de MPC, las ventajas y desventajas que presenta este tipo de controlador, la rentabilidad en su utilización versus los controladores actuales ya existentes.

- § *Capítulo III*, está dedicado especialmente a la descripción de las características principales del MPC, sus estrategias, elementos y modelos de procesos ante la presencia de perturbaciones, la ayuda que presta el método de la DMC (Control de Matriz Dinámica) culminando con una rápida formulación del GPC (Control Predictivo Generalizado) y su extensión al caso multivariable por su gran ayuda que proporciona en el desarrollo de controladores multivariables
- § *Capítulo IV*, en el cual se exponen algunos criterios para el diseño de controladores predictivos así como algunos de los resultados de simulaciones que se pueden realizar con el estudio de la herramienta MPC en la aplicación DeltaV predict, además de algunas de las aportaciones de esta tesis y se proponen algunos desarrollos futuros.
- § *Capítulo V*, consta de una breve explicación del sistema DeltaV, pues aquí se detalla su software, hardware, y todo el sistema de control necesario para la simulación e implementación del nuevo controlador diseñado, terminando con un apartado para las necesidades futuras de la planta y de sus otras estaciones que conforman el sistema de bombeo SOTE.
- § *Capítulo VI*, muestra algunas aplicaciones a sistemas no lineales con restricciones de modelado y perturbaciones, también implementaciones industriales de modelos de control predictivo no lineales actuales y su problemática asociada al mismo, terminando con conclusiones y recomendaciones que se pueden hacer uso en un futuro para evitar cualquier tipo de adversidad dentro de la planta.

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DE LOS MODELOS DE CONTROL

2.1 Introducción

Cuando se hace necesario conocer el comportamiento de un sistema en unas determinadas condiciones y ante unas determinadas entradas, se puede recurrir a la experimentación sobre dicho sistema y a la observación de sus salidas. Sin embargo, en muchos casos la experimentación puede resultar compleja o incluso imposible de llevar a cabo, lo que hace necesario trabajar con algún tipo de representación que se aproxime a la realidad, y a la que se conoce como *modelo*.

¿Qué es un *MODELO*?, es un esquema teórico, generalmente en forma matemática, de un sistema o de una realidad compleja, es decir, es una herramienta que permite rededir el comportamiento de un sistema sin necesidad de experimentar sobre él, ya que en muchos casos la experimentación puede resultar compleja o incluso imposible de llevar a cabo

El modelo interno de un sistema suele ser un modelo lineal discreto que relaciona cada salida (y) con las variables manipuladas (u) y las perturbaciones medibles (v) o no medibles. Pueden usarse varios tipos de modelos del proceso tanto para la parte que hace referencia a las variables manipuladas como para las perturbaciones. El modelo interno y las medidas de las variables del proceso permiten predecir la evolución futura del sistema como función de los valores futuros de las variables manipuladas.

Si se toma el caso de una entrada y una salida, los modelos suelen incluir al menos dos términos: uno que depende de la variable manipulada y otro que trata de reflejar la influencia de perturbaciones y ruidos que actúan sobre el sistema. Es posible utilizar tipos

de modelos muy distintos, así, por ejemplo, en el caso de un modelo de respuesta impulsional con una entrada y una salida se tiene:

$$y(t) = \sum_{i=1}^{\infty} h_i u(t-i) + n(t) \quad (2.1)$$

Donde $n(t)$ representa una perturbación externa, ruido, y h_i los coeficientes de la respuesta impulsional, siendo $y(t)$ una combinación lineal de infinitos valores pasados de la entrada. Por otra parte; Para un modelo tipo respuesta al escalón, la información sería:

$$y(t) = \sum_{i=1}^{\infty} g_i \Delta u(t-i) + n(t) \quad (2.2)$$

Siendo Δ el operador diferencia temporal y g_i los coeficientes de la respuesta al escalón, con lo que $y(t)$ es una combinación lineal de infinitos valores pasados de los cambios en la entrada.

2.2 Modelos de Control de Procesos

Para efectuar el análisis de un sistema, es necesario obtener un modelo matemático que lo represente. El modelo matemático equivale a una ecuación matemática o un conjunto de ellas en base a las cuales podemos conocer el comportamiento general del sistema.

Para uniformizar criterios respecto a las denominaciones que reciben los elementos que conforman un sistema de control es necesario tener en mente las siguientes definiciones:

Planta, Cualquier objeto físico que ha de ser controlado.

Variable Manipulada, Es el elemento al cual se le modifica su magnitud, para lograr la respuesta deseada.

Variable Controlada, Es el elemento que se desea controlar.

Variable Controlada, Es el elemento que se desea controlar.

Perturbación, Es una señal que tiende a afectar adversamente el valor de la salida de un sistema.

Sistema, Combinación de componentes que actúan conjuntamente y cumplen un objetivo determinado.

Señal de corriente de entrada, Considerada como estímulo aplicado a un sistema desde una fuente de energía externa con el propósito de que el sistema produzca una respuesta específica.

Señal de corriente de salida, Respuesta obtenida por el sistema que puede o no relacionarse con la respuesta que implicaba la entrada.

Retroalimentación, Característica importante de los sistemas de control de lazo cerrado. Es una relación secuencial de causas y efectos entre las variables del sistema.

Servomecanismo, Sistema de control realimentado cuya salida es una posición mecánica.

2. 2. 1 Síntesis de los Modelos de Control.

Los modelos de sistemas físicos pueden ser de muy diversos tipos. Una clasificación, en función del grado de formalismo matemático que poseen, es la siguiente:

§ **Modelos mentales, intuitivos o verbales.** Estos modelos carecen de formalismo matemático. Para conducir un coche, por ejemplo, se requiere un modelo mental o intuitivo sobre el efecto que produce el movimiento del volante, pero no es necesario caracterizar dicho efecto mediante ecuaciones matemáticas exactas.

§ **Modelos no paramétricos.** Muchos sistemas quedan perfectamente caracterizados mediante un gráfico o tabla que describa sus propiedades dinámicas mediante un número no finito de parámetros. Por ejemplo, un sistema lineal queda definido mediante su respuesta al impulso o al escalón, o bien mediante su respuesta en frecuencia.

§ **Modelos paramétricos o matemáticos.** Para aplicaciones más avanzadas, puede ser necesario utilizar modelos que describan las relaciones entre las variables del sistema mediante expresiones matemáticas como pueden ser ecuaciones diferenciales (para sistemas continuos) o en diferencias (para sistemas discretos).

En función del tipo de sistema y de la representación matemática utilizada, son:

§ **Determinísticos o estocásticos.** Se dice que un modelo es determinístico cuando expresa la relación entre entradas y salidas mediante una ecuación exacta. Por el contrario, un modelo es estocástico si posee un cierto grado de incertidumbre. Estos últimos se definen mediante conceptos probabilísticos o estadísticos.

§ **Dinámicos o estáticos.** Un sistema es estático cuando la salida depende únicamente de la entrada en ese mismo instante (un resistor, por ejemplo). En estos sistemas existe una relación directa entre entrada y salida, independiente del tiempo. Un sistema dinámico es aquél en el que las salidas evolucionan con el tiempo tras la aplicación de una determinada entrada (por ejemplo, una red RC). En estos últimos, para conocer el valor actual de la salida es necesario conocer el tiempo transcurrido desde la aplicación de la entrada.

§ **Continuos o discretos.** Los sistemas continuos trabajan con señales continuas, y se caracterizan mediante ecuaciones diferenciales. Los sistemas discretos trabajan con señales muestreadas, y quedan descritos mediante ecuaciones en diferencias.

Todo modelo matemático o paramétrico, consta de una o varias ecuaciones que relacionan las entradas y salidas (en los modelos dinámicos la variable **t -tiempo-** juega también un papel primordial).

Los modelos son aproximaciones más o menos precisas del proceso (véase **Figura. 2.1, Figura. 2.2 y Figura. 2.3**). Depende de qué se “tenga en cuenta” y qué se “desprecia” en el modelo, los modelos dados pueden ser modelo **ARX** con una variedad de modelos

conocidos como: modelos *Output-Error* (OE), modelos *ARMAX*, modelos *FIR*, y modelos *Box-Jenkins* (BJ). En un nivel básico es suficiente pensar que todos los modelos mencionados con una variación del modelo *ARX* [11]. Se debe buscar un modelo lo más simple posible que describa suficientemente los factores que necesitamos analizar en función de nuestro problema, es decir, estudiar el contexto del problema, ¿Qué factores importan? ¿Qué factores pueden despreciarse? ¿Qué simplificaciones son asumibles?

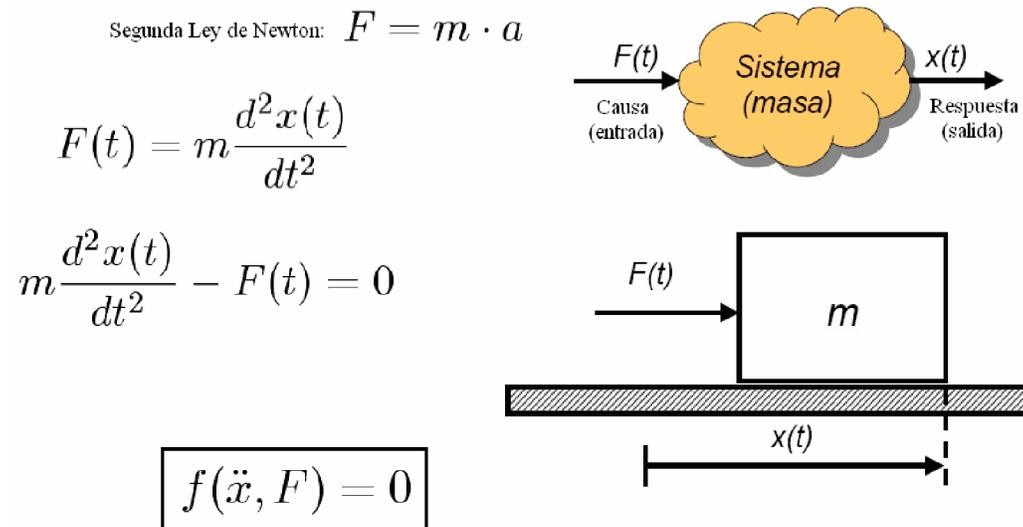


Figura. 2.1 Sistema masa en movimiento.

2. 2. 2. Sintonización de Parámetros en un Sistema de Control

A lo largo de la historia, se han desarrollado y perfeccionado técnicas que han hecho del control automático toda un área de investigación y desarrollo, orientada a reducir costos de procesos, aumentar calidad de artículos, mejorar precisión de productos, e incrementar niveles de seguridad, entre otros. Es así como existen innumerables aplicaciones en diversas áreas de la ingeniería, tales como el diseño de un control robusto, estabilidad en sistemas de control MPC, control Fuzzy, etc.

Los métodos dinámicos de lazo cerrado que utilizan toda la información, desde $t = 0^+$ hasta el nuevo estado estacionario son conocidos como “criterios integrales”. Los tres criterios más populares son la minimización de la integral del error llamada “Integral

del valor Absoluto del Error”, IAE: $\int |error(t)| \cdot dt$, Similarmente, se suele utilizar la “Integral del valor Absoluto del Error ponderado en el Tiempo”, ITAE: $\int t \cdot |error(t)| \cdot dt$ que tiene la virtud de garantizar que un error a tiempos avanzados tendrá una gran reacción del controlador; Finalmente, se utiliza también la “Integral del Error al Cuadrado”, ISE: $\int (error(t))^2 \cdot dt$ en situaciones en que es necesaria la continuidad de la función (el Valor Absoluto es discontinuo).

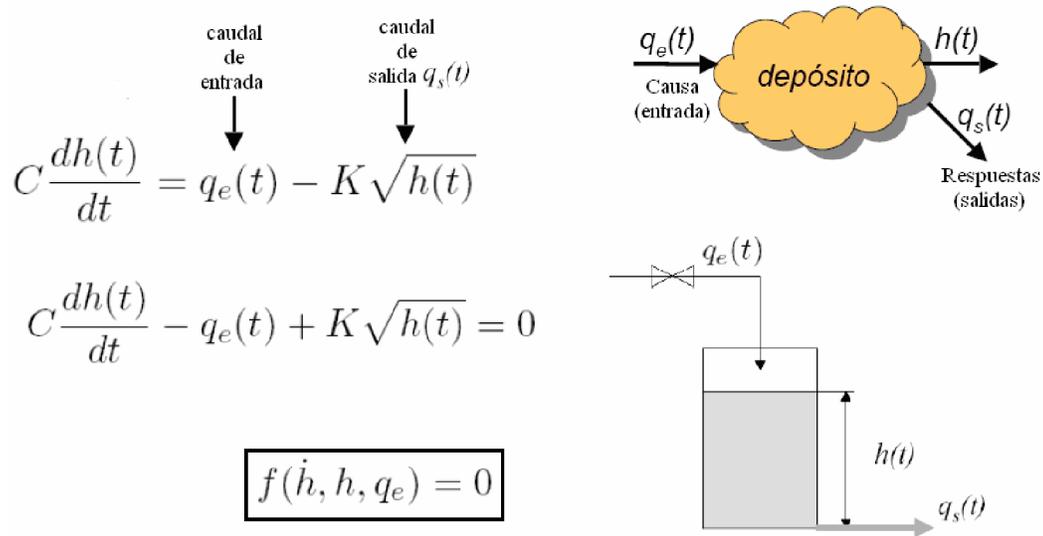


Figura. 2.2 Sistema Depósito.

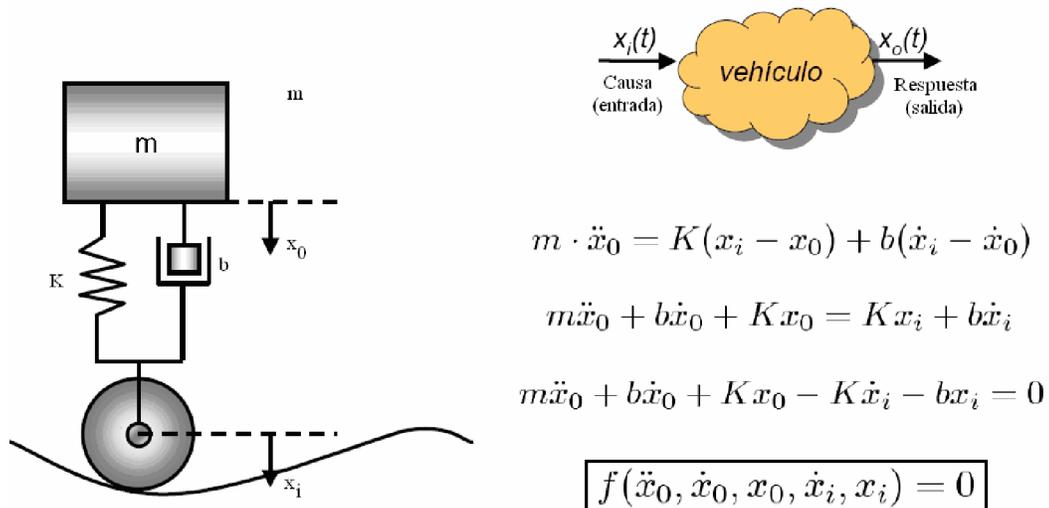


Figura. 2.3 Sistema de amortiguación.

Para tener la seguridad de que valores de parámetros utilizar se debe:

- § Usar criterios simples, como la tasa de decaimiento de oscilaciones que sea de $\frac{1}{4}$; mínimo tiempo de estabilización; minimización de error; etc., las cuales arrojan varios conjuntos distintos de parámetros.
- § Usar criterios de minimización de integrales del error (por Ej. ISE, ITAE, IAE).
- § Se puede utilizar los parámetros que resultan de observaciones y reglas semi-empíricas que, en la práctica, han funcionado bien [12].

La idea es, simplemente, encontrar los parámetros del controlador elegido (es decir, en el caso del controlador predictivo basado en modelos encontrar el orden específico de cómo ubicar a las variables “Presión de Descarga”, “Presión de Succión”, “Densidad”, “Flujo”, “Velocidad de unidades”, “Temperatura”, “Viscosidad”, “Número de Unidades ” etc.) tal que el valor de la integral sea mínimo, o sea que exista un modelo de respuesta, el más cercano al verdadero comportamiento de la planta. Desde el punto de vista práctico, es sólo cuestión de disponer de herramientas de minimización o tomar derivadas parciales respecto de los parámetros del controlador.

2.3 Análisis de Estabilidad y Robustez

2.3.1 Estabilidad en MPC

La estabilidad y robustez nominal del sistema controlado con MPC se garantiza bajo la hipótesis de que el modelo de predicción obtenido (**Figura 2.4**) coincide con el modelo del sistema a controlar. Sin embargo, todo sistema tiene asociado un error con el modelo que representa su dinámica. El controlador Diseñado para el mejoramiento de la estación debe poseer gran estabilidad debido a que son plantas con modelos no-lineales, por tal motivo necesitan de un controlador sofisticado, pues el objetivo principal de este y todos los controladores predictivos es mantener una estabilidad robusta y buen rendimiento a pesar de la perturbaciones que se encuentren presentes.

Cuando se diseña un controlador, es importante garantizar la estabilidad del bucle cerrado. En el caso de los controladores predictivos existe gran literatura dedicada a desarrollar una teoría de estabilidad consistente. Al utilizar sistemas lineales con restricciones o sistemas no lineales, la base utilizada ha sido la teoría de estabilidad de Lyapunov.

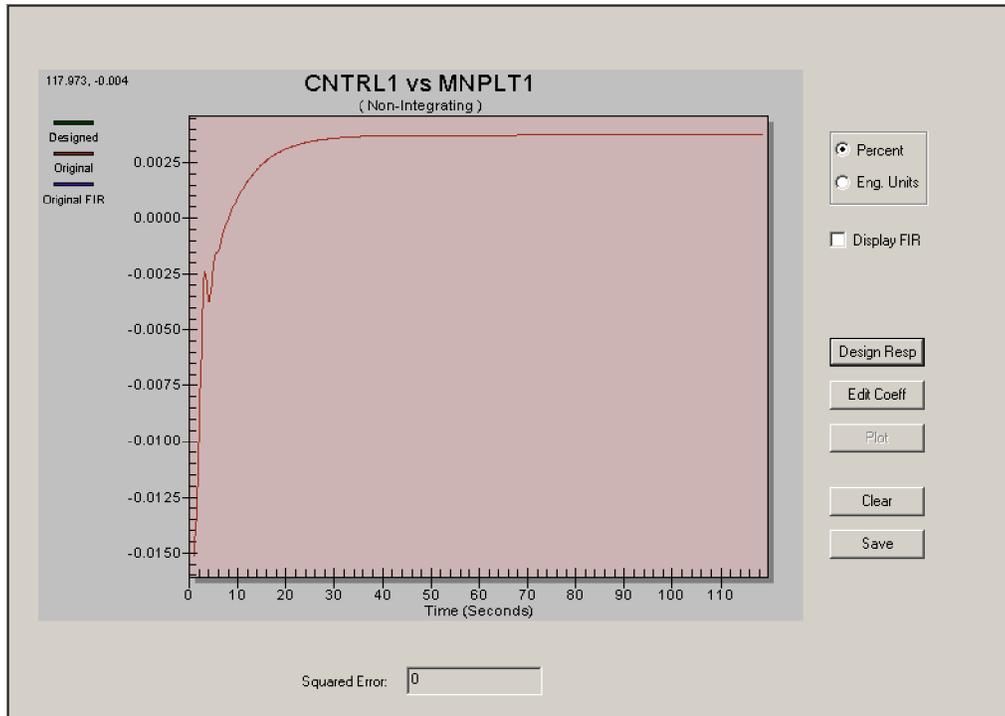


Figura 2. 4 Modelo de Respuesta de la planta (Variable Controlada vs. Manipulada)

Con este modelo de respuesta del proceso, se obtendrá un mayor control en la operación de bombeo, evitando que unidades se apaguen cuando no se haya dado una orden para hacerlo, por tanto generando un comportamiento más estable de la planta puesto que la respuesta de la misma no es oscilatoria (**Figura 2.5**), a diferencia del controlador FLC existente que presentaba una diferencia de 0.1 psi variable (**Figura 2.6**).

El MPC produce una diferencia de 0.048 BPH pero estable sin cambios en aproximadamente 3 minutos, lo que constituye ahorro en los equipos, además ayuda a evitar que la tubería sufra daños debido a incrementos imprevistos de flujo o presiones, es decir si se realiza un cambio de setpoint muy grande el controlador tarde en alcanzar dicho

valor puesto que si se lo realizara en cuestión de segundos la tubería no soportaría tanta presión o flujo y se rompería.

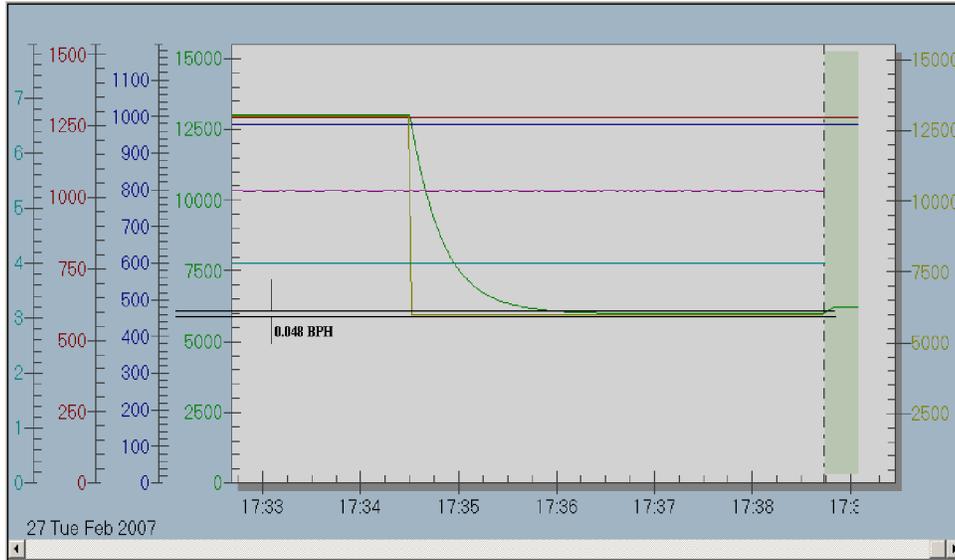


Figura 2.5 Respuesta del controlador a ser implementado MPC.

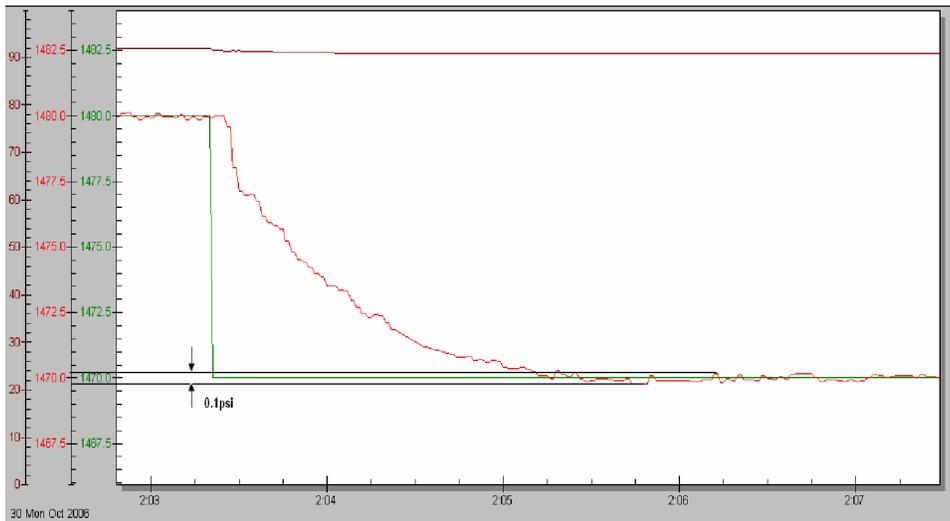


Figura. 2.6 Respuesta del controlador anterior FLC.

2. 3. 2 MPC Robusto

No siempre un modelo utilizado en el controlador predictivo coincide exactamente con el proceso real a controlar. Las consecuencias de estas diferencias pueden ser

importantes: pérdida de la estabilidad del controlador o incumplimiento de las restricciones impuestas a los estados, control responsivo pero no robusto, etc.

El diseño de un controlador predictivo robusto que evite las consecuencias antes mencionadas se puede abordar desde dos puntos de vista: diseñar un controlador nominal y analizar el nivel de perturbaciones que soporta dicho controlador o bien, tomar en cuenta dichas perturbaciones en el proceso de diseño del controlador, las cuales son válidas para un MPC robusto.

Al momento de generar el controlador MPC se tienen ciertos parámetros para la sintonización del mismo, estos son: Penalización sobre Movimiento (POM), Penalización sobre Error (POE), Factor de Paciencia (FP) y Horizonte de Predicción (H), así dependiendo de que tipo de controlador se desea se puede por ejemplo, para tener un controlador robusto se incrementa PM, un controlador más responsivo disminuyendo PM, incrementando POE decrece el margen de estabilidad e incrementando POM aumenta el margen de estabilidad, el efecto específico logrado depende mucho de la respuesta al escalón del proceso.

2. 3. 3 Ventajas y Desventajas del Modelo de Control Predictivo

Los modelos pueden venir dados por diferentes estructuras y con distintas formulaciones matemáticas. El uso deseado del modelo también determina el grado de sofisticación requerido.

El modelado e identificación de sistemas no-lineales es, en buena medida, un problema dependiente de las aplicaciones y que frecuentemente tiene sus raíces en la tradición y en las técnicas específicas del área de aplicación.

Los controladores predictivos han tenido un notable éxito en el campo de la industria así como en la comunidad investigadora. Esto se debe a las propiedades que tienen estas técnicas de control, no exentas, por otro lado, de desventajas (Camacho & Bordons 1999, Mayne, Rawlings, Rao & Scokaert 2000) [5].

Entre las ventajas del MPC se pueden destacar:

- § Formulación en el dominio del tiempo, flexible, abierto e intuitivo.
- § Permite tratar con sistemas lineales y no lineales, monovariantes y multivariantes utilizando la misma formulación del controlador.
- § La ley de control responde a criterios óptimos.
- § Permite la incorporación de restricciones en la síntesis del controlador.
- § Brinda la posibilidad de incorporar restricciones en el cálculo de las actuaciones.

De todas estas ventajas, sin duda la más importante es la posibilidad de incorporar restricciones en el cálculo de las actuaciones, aspecto que las técnicas clásicas de control no permiten.

Entre las desventajas de esta técnica de control (MPC) se pueden citar:

- § Requiere el conocimiento de un modelo dinámico del sistema suficientemente preciso.
- § Requiere un algoritmo de optimización, por lo que sólo puede implementarse por medio de un computador.
- § Requiere un alto coste computacional, lo que hace difícil su aplicación a sistemas rápidos.
- § Hasta hace relativamente poco, no se podía garantizar la estabilidad de los controladores, especialmente en el caso con restricciones. Esto hacía que el ajuste de estos controladores fuese heurístico y sin un conocimiento de como podían influir los parámetros en la estabilidad.

Se debe destacar que el control predictivo es una técnica muy potente que permite formular controladores para sistemas complejos y con restricciones. Esta potencia tiene un precio asociado: el coste computacional y la sintonización del controlador. Recientes avances en el campo del MPC proveen un conocimiento más profundo de estos controladores, obteniéndose resultados que permiten relajar estos requerimientos.

2.4 Control Predictivo Basado en Modelo

El Control Predictivo Basado en Modelos (MPC) no hace referencia a un diseño concreto de un controlador sino más bien a un conjunto de ideas o características para el desarrollo de estrategias de control y que aplicadas en cada caso en un mayor o menor grado, dan lugar a diferentes tipos de controladores.

- § Según el tipo de modelo del proceso utilizado.
- § Según el tipo de función de coste utilizada.
- § Según el método de optimización aplicado.

De todos los diseños, los más sencillos destacan por su fácil implementación y por la simplicidad del controlador final resultante. Es el caso del llamado Control Predictivo Generalizado (GPC). Este tipo de estrategia MPC puede ser aplicada a una gran variedad de procesos, desde plantas con una dinámica muy sencilla, hasta otras más complejas, incluyendo sistemas con retardo, inestables, de fase no mínima, etc., llegando (en la mayoría de los casos) a una ley de control lineal. Además, la extensión al caso multivariable es bastante directa y sin muchas complicaciones.

El MPC es una forma de control que toma en cuenta dichos criterios de funcionamiento mediante funciones objetivo y restricciones, y representa el proceso mediante un modelo dinámico. A dicho modelo se le pueden asociar incertidumbres, con el fin de poder incluirlas explícitamente en la formulación de los controladores, por lo que sus procesos deben ser igual más óptimos con las mejoras de las tecnologías y así obtener beneficios económicos, seguridad, y eficiencia.

2.4.1 Síntesis del Controlador Predictivo

El Modelo de Control Predictivo (MPC) describe una a clase de algoritmo de control que controla el comportamiento futuro de una planta a través del uso de un modelo proceso explícito. En cada intervalo de control el algoritmo de MPC computa una secuencia de lazo

– abierto de los ajustes de la variable manipulada para optimizar el comportamiento futuro de la planta. La primera entrada en la secuencia de optimización es inyectada en la planta, y toda la optimización es repetida como intervalos de control subsecuentes. La tecnología MPC fue originalmente desarrollada para aplicaciones de plantas de energía y refinerías de petróleo, pero que ahora puede ser encontrado en una gran variedad de ambientes de fabricación incluyendo industrias químicas, procesadoras de alimentos, automatización, metalurgia, etc.

Los principales parámetros del Bloque de Función MPC se muestran en la **Figura 2.7**, en la configuración del MPC se puede seleccionar el número de parámetros controlados CNTRL#, restricciones CNSTR# y perturbaciones DSTRB#, que son requeridos para reunir las necesidades del proceso de control. El # de variables manipuladas y entradas BKCAL_IN# son seteadas igual al número de parámetros controlados que se especifica.

2.4.1.1 Modos del Bloque MPC

Modo Out of Service, (OOS) En este modo el algoritmo de control no se ejecuta. El bloque no cambia el valor de las salidas.

Modo Inicialización Manual, (IMAN) La respuesta proyectada sobre el horizonte de predicción es calculada basada en las entradas, asumiendo que las salidas permanecen con sus valores. La salida del MPC es calculada para emparejar las entradas BKCAL_IN.

Modo Manual, (MAN) Los valores de salida no son escritos por el algoritmo MPC, pero pueden ser cambiados por el operador.

Modo Automático, (AUTO) La respuesta proyectada es calculada y la salida calculada para un control normal generado. Si la salida no está limitada (como lo indica su salida BKCAL_IN asociada), ésta esta reflejada en el bloque salida. Cuando la salida está calculada guiará al control fuera del límite, la última salida es mantenida y el algoritmo MPC reiniciará para la salida constante.

Desviación Estándar, (STDEV) Es la raíz cuadrática del promedio de la suma de los errores cuadráticos del valor medio de los últimos 100 escaneos. La desviación estándar de cualquier PV (Para bloques I/O y bloques analógicos en modo MAN) o error (para bloques

de control analógico en modo AUTO). Para MPC es la raíz cuadrada del promedio del error cuadrático de los parámetros controlados de sus Setpoints de los últimos 100 escaneos.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} ; N = 100 \tag{2.3}$$

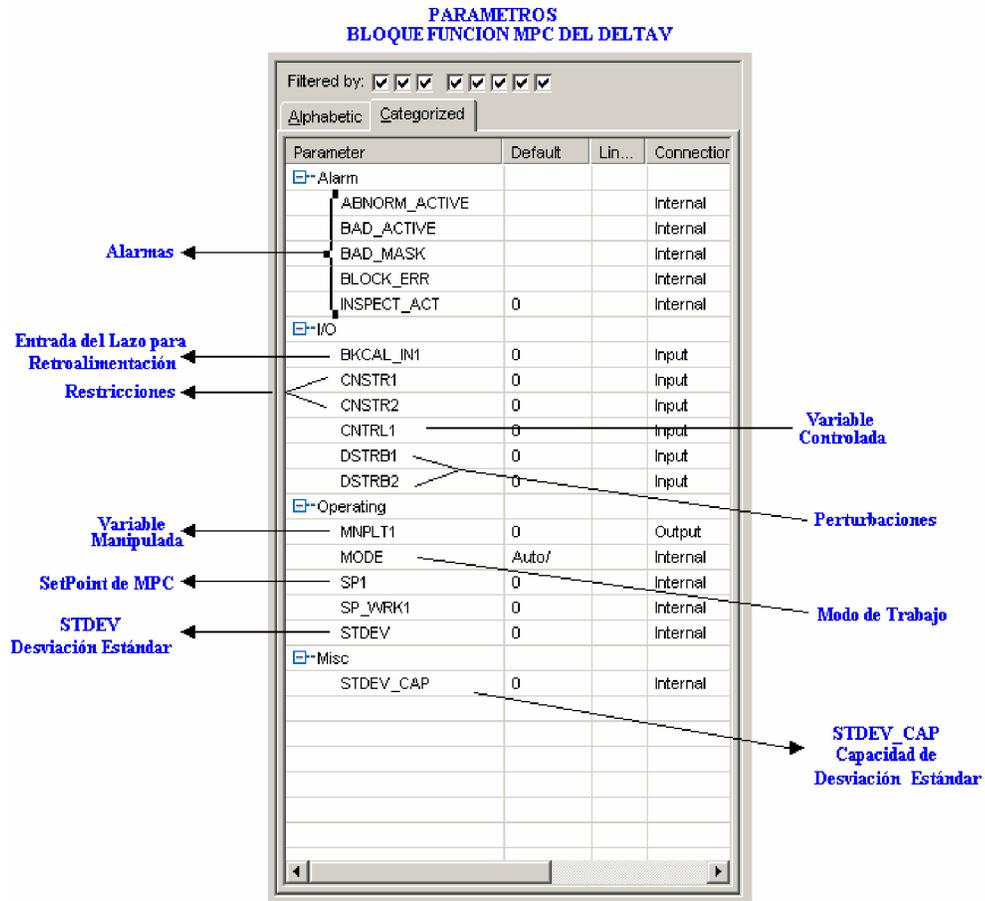


Figura 2. 7 Parámetros del Bloque MPC

2. 4. 2 Validación de Modelo

La validación del modelo muestra el modelo del proceso exacto y da una buena indicación acerca de la robustez requerida por el controlador. Si el modelo demuestra una significativa concordancia mal hecha con el proceso, el controlador debe ser más robusto. Existen muchas técnicas habilitadas, la más simple de éstas es revisar el modelo para asegurarse que éste refleja el proceso en sí.

Para un proceso de una sola entrada y una sola salida (SISO), la predicción de la salida futura del proceso puede ser calculada como:

$$x_{k+1} = A \cdot x_k + B\Delta u_k + F\Delta w_k \quad (2.4)$$

$$y_o = C \cdot x_{k+1} \quad (2.5)$$

Donde

$x_k = [Y^0, Y^1, \dots, Y^i, \dots, Y^{N-1}]^T$, el vector de predicción de las salidas en los pasos $0, 1, \dots, i, \dots, N-1$ futuros en el tiempo k .

A es el operador de desplazamiento, definido como $A \cdot x_k = [Y^1, Y^2, \dots, Y^i, \dots, Y^{N-1}]^T$.

$B = [b_0, b_1, \dots, b_i, \dots, b_{N-1}]^T$, es el vector de coeficientes de N pasos de respuesta.

$\Delta u_k = u_k - u_{k-1}$, es el cambio a la entrada del proceso (salida controlador) al instante k

Δw_k Es la diferencia entre la salida medida del proceso y la salida del modelo.

F es un filtro, vector de dimensión N con valores unidad por defecto.

C es el operador asociado con la primera componente del vector x_{k+1}

Para un proceso de n salidas y m entradas, el vector x_k tiene dimensiones de $n \cdot N$, con lo cual B se convierte en una matriz con dimensión $n \cdot N$ filas y m columnas. Se puede identificar el modelo del proceso en base a la respuesta al escalón utilizando dos técnicas diferentes: **FIR** y **ARX** (véase Anexo 4).

2. 4. 2. 1 Inspección de validaciones de errores para todas las salidas

El software de simulación aplica datos de entradas de proceso reales como entradas del modelo del proceso y expone el valor de la raíz del error cuadrático medio entre la salida calculada y la salida actual para un dato seleccionado. Si el error de salida promedio excede 1% por escaneo, la respuesta al escalón asociado debe ser examinada con más detalles. En la **Figura 2.8**. Se muestra una validación del modelo para una ganancia del

proceso correcta. El promedio del error cuadrado es pequeño 0.991447%, un aceptable error y un buen modelo del proceso.

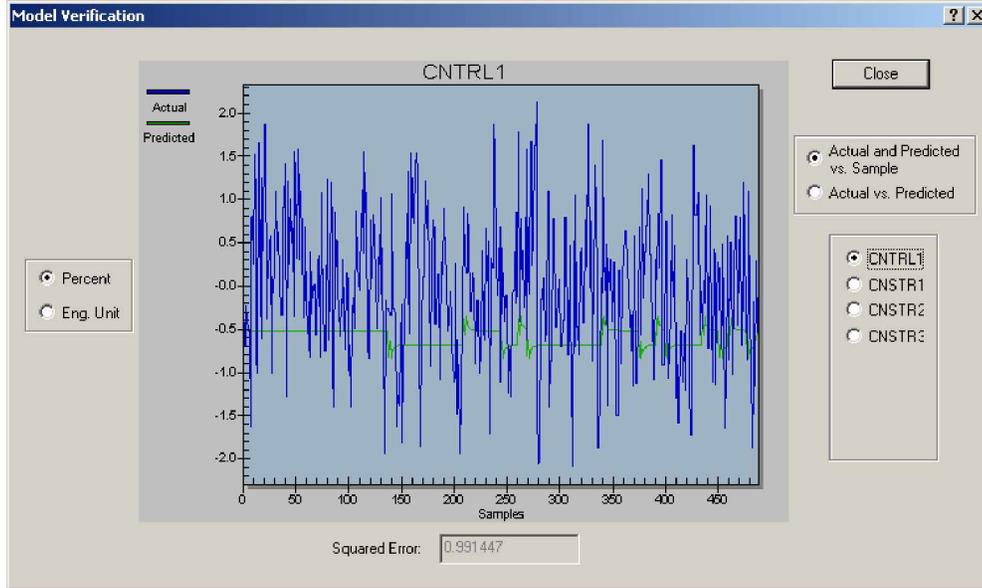


Figura. 2.8. Validación del modelo

El controlador MPC es generado por el modelo del proceso y el controlador designa los parámetros. El controlador MPC minimiza la suma de los cuadrados del error de la variable controlada sobre el horizonte de predicción y la variable de control en el horizonte de control. Esta definición se expresa de la siguiente manera:

$$\min \left\{ \left\| \Gamma^y [X(k) - R(k)] \right\|^2 + \left\| \Gamma^u \Lambda U(k) \right\|^2 \right\} \quad (2.6)$$

Donde:

N Horizonte de Predicción (número de steps).

m Horizonte de Control (número de steps).

$X(k)$ Salida Controlada — N -step delante del vector de predicción.

$R(k)$ N -step adelante del vector Setpoint.

$\Lambda U(k)$ m -step adelante vector de incremento de movimiento de salida del controlador.

$\Gamma^y = \text{diag} \{ \Gamma^y_1, \dots, \Gamma^y_N \}$ Matriz de sentencia sobre el error de salida.

$\Gamma^u = \text{diag} \{ \Gamma^u_1, \dots, \Gamma^u_m \}$ Matriz de sentencia sobre los movimientos de control

La solución es en función de la variable controlada esta dada de la forma siguiente:

$$\Delta U(k) = (S^{uT} \Gamma^{yT} \Gamma^y S^u + \Gamma^{uT} \Gamma^u)^{-1} \cdot S^{uT} \Gamma^{yT} \Gamma^y E_N(k)$$

Donde:

S^u Matriz dinámica del proceso obtenida de la respuesta al escalón cuyas dimensiones son: $N \times m$ para un proceso SISO y Matriz $N * no \times m * ni$ para un proceso MIMO con un número de ni entradas y no salidas.

$E_N(k)$ Vector error sobre el horizonte de predicción.

El comportamiento del algoritmo de control puede ser modificado mediante el ajuste de los siguientes parámetros N , m , Γ^u y Γ^y . Desde el punto de vista de la implementación, N y m no resultan convenientes usarlos para como parámetros de sintonización. En la tarea de implementación del control DMC, Γ^u y Γ^y son usualmente aplicados como escalares, es decir, el error de control es multiplicado por el escalar Γ^y sobre todo el horizonte de predicción, al igual que los movimientos del controlador sobre el horizonte de control son multiplicados por el escalar Γ^u [16].

La robustez del controlador puede ser significativamente mejorada si se establecen los perfiles de tendencia o pendiente de los coeficientes de Γ^u y Γ^y dependientes de la predicción del error de control y de los movimientos de la variable de control. La implementación más corriente utiliza funciones lineales con la opción de establecer los coeficientes iniciales a cero.

Γ^u Es un parámetro básico de ajuste del controlador definido en la fase de generación del controlador. Incrementando Γ^u se atenúa la acción de control; por el contrario la reducción de Γ^u , proporciona una acción de control mas agresiva y por consiguiente una respuesta mas rápida. El filtrado del setpoint constituye un parámetro de ajuste relevante, el cual es conocido como trayectoria de referencia.

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL MODELO DE CONTROL PREDICTIVO

3.1 Introducción

En los apartados siguientes se muestra todas las características asociadas al MPC, con el cual se puede realizar de forma efectiva, problemas de control y automatización de procesos industriales que se caractericen por presentar un comportamiento dinámico complicado, multivariable, e/o inestable, en este caso el mejoramiento del sistema de bombeo de petróleo de la estación #1 Lago Agrio.

Para el desarrollo de este nuevo controlador, MPC integra disciplinas como el control óptimo, control estocástico, control de procesos con retardo de tiempo, control multivariable, control con restricciones y en presencia de perturbaciones, pues el comportamiento futuro del sistema depende de las actuaciones que se aplican a lo largo del horizonte de predicción, son éstas las variables de decisión respecto a las que se optimiza el sistema.

La posible discrepancia entre el comportamiento predictivo y el comportamiento real del sistema crean la necesidad de imponer cierta robustez al sistema incorporando realimentación del mismo.

Esta realimentación se consigue gracias a la técnica del horizonte deslizante que consiste en aplicar las actuaciones obtenidas durante un periodo de tiempo, tras el cual se muestrea el estado del sistema y se resuelve un nuevo problema de optimización. De esta manera, el horizonte de predicción se va deslizando a lo largo del tiempo.

3. 1. 1 Características del Modelo de Control Predictivo

El Control Predictivo no es una estrategia de control específica, sino que se trata más bien de un campo muy amplio de métodos de control desarrollados en torno a ciertas ideas comunes. Estos métodos de diseño conducen a controladores lineales que poseen prácticamente la misma estructura y presentan suficientes grados de libertad. Las ideas que aparecen en mayor o menor medida en toda la familia de controladores predictivos son básicamente [7]:

- § Usa un modelo explícito. El modelo se utiliza para predecir el comportamiento del proceso en el futuro
- § Las señales de control se obtienen optimizando cierta función objetivo.
- § Se utiliza lo que se denomina estrategia de ventaja deslizante. Sólo se aplica la primera señal de control de la secuencia, repitiéndose el proceso en el siguiente instante de muestreo. Esta estrategia de control permite que el horizonte de predicción se desplace hacia el futuro y posibilita realizar un control en bucle cerrado que permite compensar las diferencias entre el modelo utilizado y la dinámica del proceso.

Los distintos algoritmos de MPC difieren entre sí casi exclusivamente en el modelo usado para representar el proceso y los ruidos y en la función de coste a minimizar. Aunque las diferencias puedan parecer pequeñas *a priori*, pueden provocar distintos comportamientos en bucle cerrado, siendo críticas para el éxito de un determinado algoritmo en una determinada aplicación.

El Control Predictivo es un tipo de control de naturaleza abierta dentro del cual se han desarrollado muchas realizaciones, encontrando gran aceptación tanto en aplicaciones industriales como en el mundo académico. En la actualidad existen numerosas aplicaciones de controladores predictivos funcionando con éxito, tanto en la industria de procesos como en control de motores o Robótica. El buen funcionamiento de estas aplicaciones muestra la capacidad del MPC para conseguir sistemas de control de elevadas prestaciones capaces de operar sin apenas intervención durante largos períodos de tiempo.

3. 1. 2 Componentes del MPC.

A nivel general un controlador predictivo necesita ciertos componentes con los cuales pueda realizar su control, así por ejemplo requiere de:

- § Modelo de la planta o proceso a controlar.
- § Referencia a seguir por la planta.
- § Función de coste cuya minimización proporciona las señales de control optimas.
- § Algoritmo que resuelva problemas de optimización con restricciones y un computador que implementa dicho algoritmo.

3. 1. 3 Estrategia de los Controladores

La metodología de todos los controladores pertenecientes a la familia del MPC se caracterizan por la siguiente estrategia, representada en la figura. **Figura. 3.1, [5] [9]:**

1. En cada instante de tiempo t y haciendo uso del modelo del proceso se predicen las futuras salidas para un determinado horizonte N , llamado horizonte de predicción. Estas salidas predichas, $\hat{y}(t+k|t)$ ³ para $k=1\dots N$ dependen de los valores conocidos hasta el instante t (entradas y salidas pasadas) y de las señales de control futuras $u(t+k|t)$, donde $k=0\dots N-1$, que se pretenden mandar al sistema y que son las que se quieren calcular.

2. El conjunto de señales de control futuras se calcula optimizando un determinado criterio en el que se pretende mantener el proceso lo más próximo posible a la trayectoria de referencia $w(t+k)$ (que puede ser directamente el setpoint o una suave aproximación a este). Este criterio suele tomar la forma de una función cuadrática de los errores entre la salida predicha y la trayectoria de referencia también predicha, incluyendo en muchos casos el esfuerzo de control. Si el criterio es cuadrático, el modelo lineal y no existen

³ La notación indica el valor de la variable en el instante $t+k$ calculado en el instante t .

restricciones se puede obtener una solución explícita, en otro caso se debe usar un método iterativo de optimización. Adicionalmente se hace alguna suposición sobre la estructura de la ley de control futura, como por ejemplo que va a ser constante a partir de cierto instante.

3. La señal de control $u(t|t)$ es enviada al proceso mientras que las siguientes señales de control calculadas son desechadas, puesto que en el siguiente instante de muestreo ya se conoce $y(t+1)$ y se repite el paso 1 con este nuevo valor y todas las secuencias son actualizadas. Se calcula por tanto $u(t+1|t+1)$ (que en principio será diferente al $u(t+1|t)$ al disponer de nueva información), haciendo uso del concepto de horizonte deslizando.

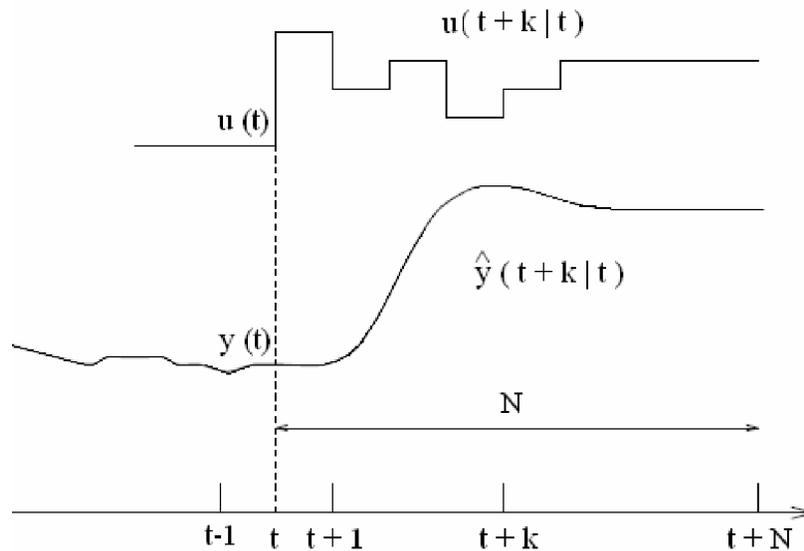


Figura. 3.1. Estrategia de Control Predictivo

Para llevar a cabo esta estrategia, se usa una estructura como la mostrada en la **Figura.3.2** Se hace uso de un modelo para predecir las salidas futuras del proceso, basándose en las futuras señales de control propuestas. Estas señales son calculadas por el optimizador teniendo en cuenta la función de coste (donde aparece el futuro error de seguimiento) así como las restricciones. Por tanto el modelo juega un papel decisivo en el controlador. El modelo elegido debe ser capaz de capturar la dinámica del proceso para poder determinar las salidas futuras al mismo tiempo que debe ser sencillo de usar y de comprender.

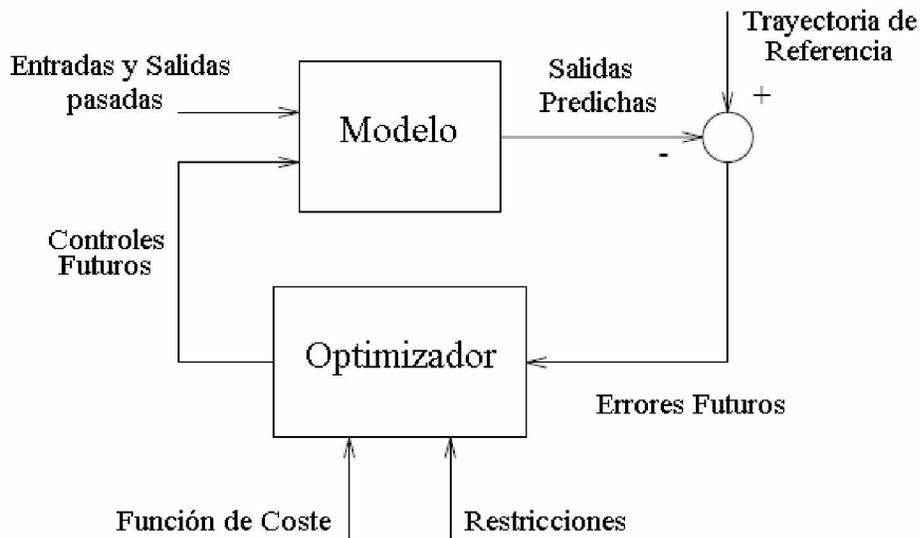


Figura. 3. 2 Estructura Básica de MPC

3. 2 Elementos Básicos de MPC

Todos los controladores predictivos poseen elementos comunes y para cada uno de estos elementos se pueden elegir diversas opciones, dando lugar a distintos algoritmos. Estos elementos son:

- § Modelo de predicción
- § Función objetivo
- § Obtención de la ley de control

3. 2. 1 Modelo de Predicción

Es el modelo matemático que describe el comportamiento de la planta a controlar. Este modelo puede ser continuo (ecuaciones diferenciales) o discreto (ecuaciones en diferencia), lineal o no-lineal y puede estar expresado en variables de estado o de entrada salida. Un diseño completo debe incluir los mecanismos necesarios para la obtención del mejor modelo posible, el cual debe ser lo suficientemente rico para capturar al máximo la dinámica del proceso y debe ser capaz de permitir el cálculo de las predicciones [17].

3.2.2 Modelo del Proceso

Casi todas las formas posibles de modelar un proceso aparecen en alguna formulación de modelo de control predictivo, siendo las más importantes o más utilizadas las que se detallan a continuación: (véase Anexo 4)

Respuesta impulsional. También conocida por secuencia de ponderación o modelo de convolución. La salida viene relacionada con la entrada por la ecuación:

$$y(t) = \sum_{i=1}^{\infty} h_i u(t-i) \quad (3.1)$$

Donde h_i son los valores muestreados obtenidos al someter al proceso a un impulso unitario de amplitud igual al período de muestreo (véase **Figura. 3.3a**). Esta suma es truncada y sólo se consideran N valores (por tanto sólo permite representar procesos estables y sin integradores), así se tiene:

$$y(t) = \sum_{i=1}^N h_i u(t-i) = H(z^{-1})u(t) \quad (3.2)$$

Donde $H(z^{-1}) = h_1 z^{-1} + h_2 z^{-2} + \dots + h_N z^{-N}$. Un inconveniente de este método es el gran número de parámetros que necesita, ya que N suele ser un valor elevado (del orden de 40-50). La predicción viene dada por:

$$\hat{y}(t+k|t) = \sum_{i=1}^N h_i u(t+k-i|t) = H(z^{-1})u(t+k|t) \quad (3.3)$$

Este método es ampliamente aceptado en la práctica industrial debido a que es muy intuitivo y no requiere información previa sobre el proceso, con lo que el procedimiento de identificación se simplifica, a la vez que permite describir fácilmente dinámicas complejas como fase no mínima o retardos.

Respuesta ante escalón. Es muy similar al anterior sólo que ahora la señal de entrada es un escalón. Para sistemas estables se tiene la respuesta truncada que es:

$$y(t) = y_0 + \sum_{i=1}^N g_i \Delta u(t-i) = y_0 + G(z^{-1})(1-z^{-1})u(t) \quad (3.4)$$

Donde las g_i son los valores muestreados ante la entrada en escalón y $\Delta u(t) = u(t) - u(t-1)$, (ver **Figura. 3.3b**). El valor de y_0 puede tomarse 0 sin pérdida de generalidad, con lo cual el predictor tiene la forma:

$$\hat{y}(t+k|t) = \sum_{i=1}^N g_i \Delta u(t+k-i|t) \quad (3.5)$$

El método de respuesta ante un escalón y respuesta impulsional presenta las mismas ventajas e inconvenientes que el anterior.

Función de transferencia. Se utiliza el concepto de función de transferencia con lo que la salida viene dada por:

$$A(z^{-1})y(t) = B(z^{-1})u(t) \quad (3.6)$$

Donde:

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_{na} z^{-na} \\ B(z^{-1}) &= b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_{nb} z^{-nb} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Por tanto la predicción vendrá dada por:

$$\hat{y}(t+k|t) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} u(t+k|k) \quad (3.8)$$

Esta representación es válida también para procesos inestables y posee la ventaja de necesitar pocos parámetros, aunque es fundamental un conocimiento *a priori* del proceso sobre todo en cuanto al orden de los polinomios A y B .

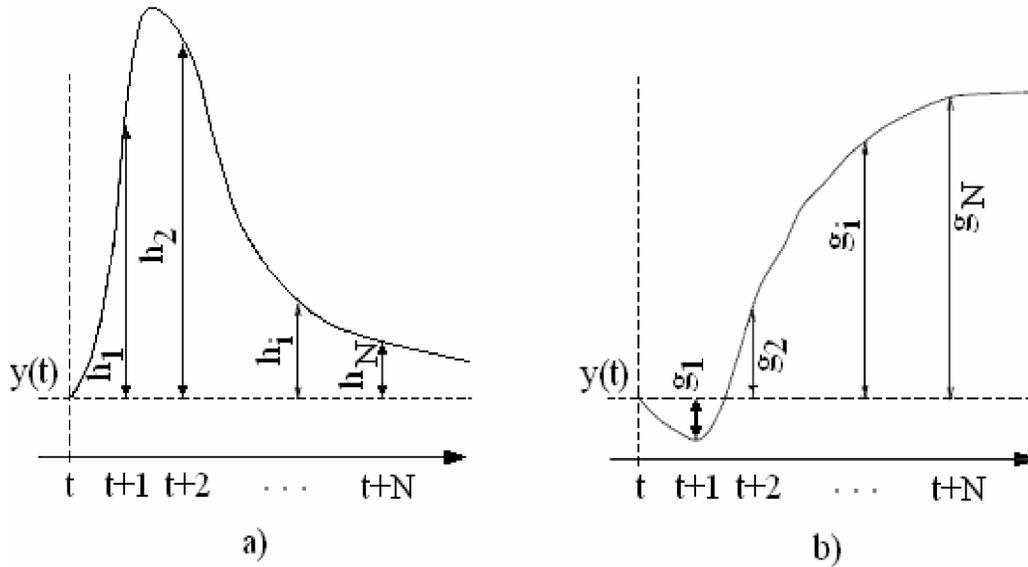


Figura. 3.3 a) Respuesta impulsional, b) Respuesta ante escalón

Espacio de estados. Tiene la siguiente representación:

$$\begin{aligned} x(t) &= Ax(t-1) + Bu(t-1) \\ y(t) &= Cx(t) \end{aligned} \quad (3.9)$$

Siendo x el estado y A , B y C las matrices del sistema, de entrada y de salida respectivamente. Para este modelo la predicción viene dada por:

$$\hat{y}(t+k|t) = C \hat{x}(t+k|t) = C \left[A^k x(t) + \sum_{i=1}^k A^{i-1} Bu(t+k-i|t) \right] \quad (3.10)$$

Posee la ventaja de que sirve también para sistemas multivariables a la vez que permite analizar la estructura interna del proceso (aunque a veces los estados obtenidos al discretizar no tienen ningún significado físico). Los cálculos pueden ser complicados, con la necesidad adicional de incluir un observador si los estados no son accesibles.

3.2.3 Función Objetivo

Los diversos algoritmos de MPC proponen distintas funciones de coste para la obtención de la ley de control. En general se persigue que la salida futura en el horizonte considerado siga a una determinada señal de referencia al mismo tiempo que se puede penalizar el esfuerzo de control requerido para hacerlo. La expresión general de tal función objetivo será:

$$J(N_1, N_2, N_u) = \sum_{j=N_1}^{N_2} \delta(j) \left[\hat{y}(t+j|t) - w(t+j) \right]^2 + \sum_{j=1}^{N_u} \lambda(j) [\Delta u(t+j-1)]^2 \quad (3.11)$$

Parámetros:

N_1 y N_2 son los horizontes, mínimo y máximo de predicción y marcan los límites de los instantes en que se desea que la salida siga a la referencia.

N_u es el horizonte de control, $\delta(j)$ y $\lambda(j)$ son coeficientes que ponderan el comportamiento futuro (se consideran valores constantes o secuencias exponenciales).

$w(t+k)$ La trayectoria de referencia.

La Figura. 3.4 muestra la forma de la trayectoria cuando la referencia $r(t+k)$ es constante y para dos valores distintos de α para valores pequeños de este parámetro se tiene un seguimiento rápido (w_1) mientras que si aumenta, la trayectoria de referencia será (w_2) dando lugar a una respuesta más suave.

3.2.4 Restricciones

La introducción de restricciones en el problema a minimizar es un proceso necesario más aún tratándose del sector petrolífero puesto que existen muchas variables que no deben sobrepasar límites de fabricación o de trabajo así por ejemplo, los actuadores tienen

ciertas limitaciones físicas que impiden su funcionamiento fuera de dichos límites, la velocidad de cambio de alguna unidad también puede estar limitada, impidiendo cambios de cierta rapidez (en el mejor de los casos evitando roturas en la tubería).

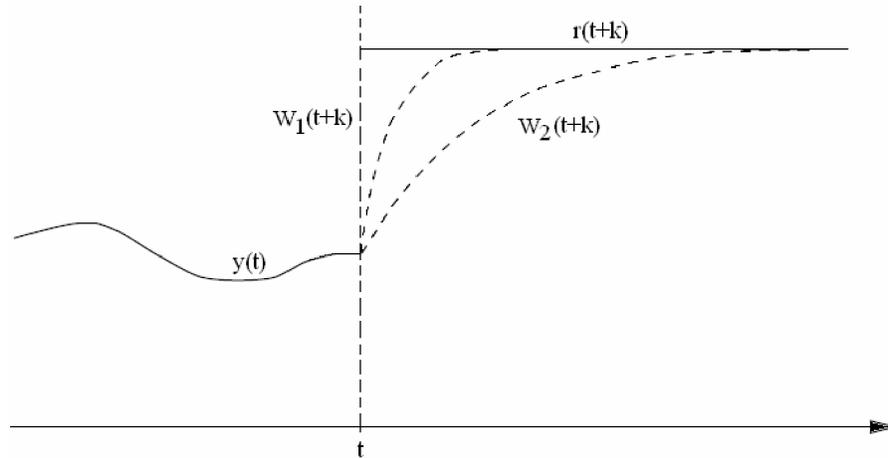


Fig. 3. 4 Trayectoria de Referencia

Muchos algoritmos predictivos toman en cuenta las restricciones (tales como factores económicos, calidad de producto, etc.)

3. 2. 5 Obtención de la Ley de Control

Para obtener los valores $u(t+k|t)$ es necesario minimizar la funcional J de la expresión de la función objetivo. Para ello se calculan los valores de las salidas predichas $\hat{y}(t+k|t)$ en función de valores pasados de entradas y salidas y de señales de control futuras, haciendo uso del modelo que se haya elegido y se sustituyen en la ecuación (3.11), obteniendo una expresión cuya minimización conduce a los valores buscados. [17].

De cualquiera de las maneras la obtención de la solución no resulta trivial pues existirán $N_2 - N_1 + 1$ variables independientes, valor que puede ser elevado (del orden de 10-30). La estructura de la ley de control se basa en la reducción del número de grados de libertad producto del tamaño del horizonte de predicción elegido con el uso del concepto de horizonte de control (N_u), que consiste en considerar que tras un cierto intervalo $N_u < N_2$ no hay variación en las señales de control propuestas, es decir:

$$\Delta u(t + j - 1) = 0 \quad j > N_u \quad (3.12)$$

Además esta estructuración de la ley de control produce una mejora en la robustez y en el comportamiento general del sistema, debido fundamentalmente a que el hecho de permitir la libre evolución de las variables manipuladas.

3.3 Modelos de las Perturbaciones

De tanta importancia como la elección de un determinado modelo del proceso es la elección del modelo utilizado para representar las perturbaciones. Un modelo bastante extendido es el Autorregresivo Integrado de Media Móvil (Auto-Regressive and Integrated Moving Average, **ARIMA**), en el que las perturbaciones, es decir, las diferencias entre la salida medida y la calculada por el modelo vienen dadas por:

$$n(t) = \frac{C(z^{-1})e(t)}{D(z^{-1})} \quad (3.13)$$

Donde el polinomio $D(z^{-1})$ incluye explícitamente el integrador $\Delta = 1 - z^{-1}$, $e(t)$ es un ruido de media cero y normalmente el polinomio C se considera igual a uno. Este modelo se considera apropiado para dos tipos de perturbaciones: cambios aleatorios ocurridos en instantes aleatorios (por ejemplo cambio en la calidad del material) y movimiento browniano (en procesos con balance de energía) y es usado en varios métodos.

Como caso particular del **ARIMA** se puede incluir la perturbación constante,

$$n(t) = \frac{e(t)}{1 - z^{-1}} \quad (\text{ec. 3.14}) \quad \text{Cuya mejor predicción será } \hat{n}(t + k | t) = n(t).$$

3.3.1 Dynamic Matriz Control

Actualmente DMC está considerado como controlador basado en Modelo (MBC) porque la capacidad de predicción está basada en el modelo del proceso incorporado dentro

del algoritmo, aunque, DMC es más que un algoritmo y parte de su éxito se debe al hecho de que el producto comercial resuelve otros temas como identificación u optimización global de la planta. En esta sección sólo se analiza el algoritmo *estándar* sin abordar detalles técnicos propios del producto de mercado que no son de dominio público.

Las características principales de DMC son:

- § Usa modelos de respuesta al escalón para predecir el comportamiento del proceso.
- § Emplea funcionamiento cuadrático sobre un horizonte de predicción finito.
- § Salidas futuras de la planta son especificadas para seguir los Setpoints tan cerca como sea posible.
- § Salidas óptimas, que siguen al Setpoint, son calculados usando el método de mínimos cuadrados.

DMC permite la compensación de tiempo muerto intrínseco debido al modelo de proceso usado para predecir el futuro comportamiento. Las operaciones de la matriz sobre la cual los cálculos de DMC son basados pueden fácilmente ser extendidos para cualquier número manipulado y variables controladas. Para cualquier par de variables manipulada – controlada, es requerido un vector de respuesta al escalón. Cada uno de estos vectores es usado para formar la matriz total.

La salida del controlador, el vector ΔM puede ser calculado como:

$$\Delta M = (A^T A)^{-1} A^T E \quad (3.15)$$

Donde A es la matriz dinámica que contiene la información dinámica del proceso. E es el error entre el Setpoint y el valor actual de la variable controlada. Pero a pesar de este éxito en la práctica, este método adolece quizás de la ausencia de un análisis teórico más completo que estudie la influencia de los parámetros de diseño (horizontes, secuencias de ponderación) sobre la estabilidad del bucle cerrado así como de resultados de robustez.

3.3.2 Algoritmo de Control

El éxito en la industria del DMC se ha debido principalmente a su aplicación a sistemas multivariados de gran dimensión con la consideración de restricciones, el objetivo del controlador DMC es llevar el proceso lo más cerca posible al setpoint en el sentido de mínimos cuadrados con la posibilidad de incluir una penalización en los movimientos de la señal de control. Por ello se seleccionan las variables manipuladas de forma que minimicen un objetivo cuadrático que puede incluir sólo los errores futuros.

Los distintos algoritmos de control predictivo difieren en el tipo de modelo utilizado para representar al proceso y a las perturbaciones y la función objetivo considerada **(3.11)**. Para cada tipo de planta que se desea controlar a través de un MPC varía en su algoritmo de control, pues éste depende principalmente del número de variables inmersas en el proceso además del conocimiento que se tenga al momento de elegir los diferentes modelos del proceso (ARX, FIR, OE, BJ). Uno de los puntos claves en la elección de la estrategia de control que se desea implementar es la correcta obtención del algoritmo de control, esto depende de la forma en la que se obtenga el modelo del proceso, pues mientras más se acerca a la realidad del proceso mejor será su respuesta.

3.3.3 Restricciones en MPC

La capacidad que posee el método de control predictivo multivariable para manejar restricciones lo hace muy útil en la industria especialmente para aplicaciones prácticas, ya que en general el punto de operación óptimo según criterios económicos se encuentra normalmente en la intersección de las restricciones, como se muestra en la figura 3.5, pero además se debe controlar el óptimo técnico que es donde la función de producción encuentra su máximo.

Por razones de seguridad, es necesario mantener una zona segura alrededor del punto de operación, ya que el efecto de las perturbaciones puede hacer que la salida del proceso viole las restricciones. Esta zona se puede reducir (y por tanto aumentar los beneficios económicos) si el controlador es capaz de manejar restricciones (punto de operación 1).

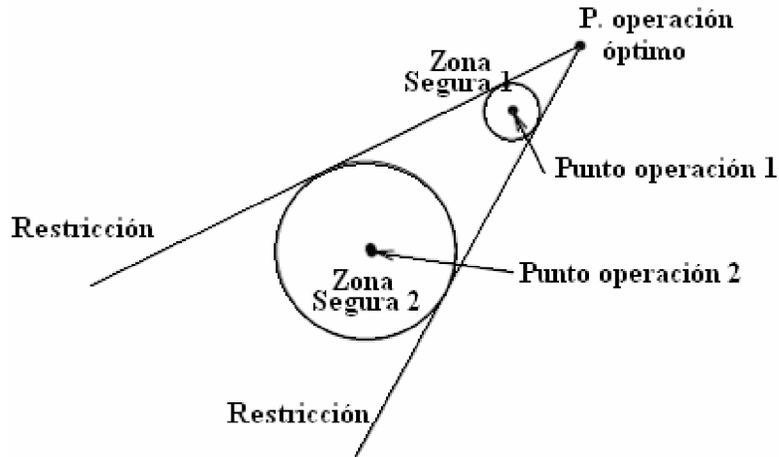


Figura. 3. 5 Punto de operación óptimo de un proceso típico

3. 4 Control Predictivo Generalizado

El Control Predictivo Generalizado GPC fue propuesto por Clarke *et al.* En 1987 y se ha convertido en uno de los métodos más populares en el ámbito del Control Predictivo tanto en el mundo industrial como en el académico. Se ha empleado con éxito en numerosas aplicaciones industriales, mostrando buenas prestaciones a la vez que un cierto grado de robustez respecto a sobre parametrización o retardos mal conocidos. Puede resolver muchos problemas de control diferentes para un amplio campo de procesos con un número razonable de variables de diseño, que son especificadas por el operario dependiendo del conocimiento previo del proceso y de los objetivos de control.

La idea básica del GPC es calcular una secuencia de futuras acciones de control de tal forma que minimice una función de coste multipaso. El índice a minimizar es una función cuadrática que mide por un lado la distancia entre la salida predicha del sistema y una cierta trayectoria de referencia hasta el horizonte de predicción, y por otro el esfuerzo de control necesario para obtener dicha salida.

3. 4. 1 Formulación del Control Predictivo Generalizado

La mayoría de los procesos de una sola entrada y una sola salida (SISO).

Al ser considerados en torno a un determinado punto de trabajo y tras ser linealizados, pueden ser descritos de la siguiente forma:

$$A(z^{-1})y(t) = z^{-d}B(z^{-1})u(t-1) + C(z^{-1})e(t) \quad (3.16)$$

Donde $u(t)$ y $y(t)$ son respectivamente la señal de control y la salida del proceso y $e(t)$ es un ruido blanco de media cero. A, B y C son los siguientes polinomios en el operador de desplazamiento hacia atrás z^{-1} y d es el tiempo muerto del sistema:

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= 1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_{na}z^{-na} \\ B(z^{-1}) &= b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_{nb}z^{-nb} \\ C(z^{-1}) &= 1 + c_1z^{-1} + c_2z^{-2} + \dots + c_{nc}z^{-nc} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Este modelo es conocido como Autorregresivo de Media Móvil (Controller Auto-Regressive Moving-Average **CARMA**). En muchas aplicaciones industriales en las que las perturbaciones son no-estacionarias resulta más conveniente el uso de un modelo **CARMA** integrado, dando lugar al **CARIMA**, que viene descrito por:

$$A(z^{-1})y(t) = B(z^{-1})z^{-d}u(t-1) + C(z^{-1})\frac{e(t)}{\Delta} \quad \text{Con} \quad \Delta = 1 - z^{-1} \quad (3.18)$$

Por simplicidad, a partir de ahora el polinomio C se va a tomar igual a 1. Nótese que en el caso de que C^{-1} pueda ser truncado se puede absorber en A y B .

El algoritmo del Control Predictivo Generalizado consiste en aplicar una secuencia de señales de control que minimice una función de coste de la forma como se mostró en el la expresión (3.11).

El objetivo es pues el cálculo de la futura secuencia de control $u(t), u(t+1), \dots$ de tal manera que la salida futura del proceso $y(t+j)$ permanezca próxima a $w(t+j)$. Esto se logra minimizando $J(N_1, N_2, N_u)$.

3.4.2 Caso Multivariable

Al igual que en el DMC todo lo visto para el caso de sistemas con una sola entrada y una sola salida se puede extender al caso multivariable, aunque los cálculos son más complejos.

En este caso el modelo **CARIMA** para un sistema de m entradas y n salidas se puede expresar como:

$$A(z^{-1})y(t) = B(z^{-1})u(t-1) + \frac{1}{\Delta}C(z^{-1})e(t) \quad (3.19)$$

Donde $A(z^{-1})$ y $C(z^{-1})$ son matrices polinomiales mónicas de dimensión $n \times n$ y $B(z^{-1})$ es una matriz polinomial de dimensión $n \times m$, definidos como:

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= I_{n \times n} + A_1 z^{-1} + A_2 z^{-2} + \dots + A_{na} z^{-na} \\ B(z^{-1}) &= B_0 + B_1 z^{-1} + B_2 z^{-2} + \dots + B_{nb} z^{-nb} \\ C(z^{-1}) &= I_{n \times n} + C_1 z^{-1} + C_2 z^{-2} + \dots + C_{nc} z^{-nc} \end{aligned} \quad (3.20)$$

Las variables $y(t)$, $u(t)$ y $e(t)$ son de dimensión $n \times 1$, $m \times 1$ y $n \times 1$ respectivamente. La predicción conlleva la resolución de una ecuación diofantina matricial, que también puede calcularse de forma recursiva.

En muchas ocasiones el problema radica en la obtención adecuada del modelo en esta forma a partir de una matriz de transferencia en continuo que puede haberse obtenido a partir de la curva de reacción. Una vez obtenido el modelo, el criterio a minimizar tendría la forma general

$$J(N_1, N_2, N_u) = \sum_{j=N_1}^{N_2} \left\| \hat{y}(t+j|t) - w(t+j) \right\|_R^2 + \sum_{j=1}^{N_u} \left\| \Delta u(t+j-1) \right\|_Q^2 \quad (3.21)$$

Donde \mathbf{R} y \mathbf{Q} son matrices de ponderación definidas positivas que normalmente se eligen diagonales. La minimización se realiza igual que en el caso monovariante dando como resultado un vector de señales de control a enviar a la planta en el instante actual:

$$u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t) \quad (3.22)$$

CAPÍTULO 4

DISEÑO DEL MODELO DE CONTROL PREDICTIVO

4.1 Introducción

La configuración de MPC es uno de los pasos esenciales en el desarrollo de un controlador efectivo para una aplicación como es el caso de procesos multivariables dentro de un sistema. El mejor criterio para definir un controlador multivariable es la controlabilidad, que puede ser especificada para propósitos prácticos como la habilidad de seguir cambios de Setpoint y constraints⁴ o restricciones manipuladas por compensación de las perturbaciones medibles y no medibles.

El número de variables como restricciones activas cambia dinámicamente durante la operación de la planta. Para tomar en cuenta los requerimientos de cambio, típicamente, el controlador MPC es reconfigurado apropiadamente en cada ejecución del ciclo, aunque, la reconfiguración del controlador cambie su controlabilidad. El MPC podría llegar a estar mal condicionado, cuando la matriz de respuesta del proceso usada para la generación del controlador MPC es colinear, tales que dos o más salidas del proceso responden de modo cercano o de idéntica forma al cambio de la variable manipulada. Los movimientos del controlador en tales condiciones son excesivos y serían fácilmente saturadas, trayendo la operación del controlador a un salto.

En capítulos anteriores ya se han presentado diversas características y metodologías que garantizan resolubilidad del controlador. Para el diseño del modelo de control predictivo y en sí del controlador propiamente dicho, se basará en el estudio de la herramienta de MPC dentro del DeltaV Predict [19].

⁴ *Constraint*, variable que se restringe, limita o regula, utiliza su acción para prevenir o dictar una acción a otra variable, más comúnmente entendido como restricciones dentro del MPC.

4. 1. 1 Técnicas de Diseño de MPC

Las principales tradicionales técnicas de Control Multivariable se detallan a continuación:

- a) Control de Lazo simple o múltiple, caracterizado por un gran retardo o respuesta de proceso inverso, pues la acción de control tomada por los bloques de MPC está basada en un modelo de respuesta del proceso. El modelo de respuesta usado por MPC está determina automáticamente durante el comisionamiento⁵ al usar la aplicación DeltaV Predict.
- b) La interacción de dos o más lazos de control impacta directamente en la operación del proceso. Por Ej. Un cambio en la salida de un lazo de control impacta el parámetro de control de los otros lazos de control de alguna manera significativa. Está interacción es automáticamente considerada para cuando el bloque MPC toma el control de la acción del proceso.
- c) Una o más perturbaciones de uno o más parámetros controlados son medidos. Incluyendo estas medidas en la acción de control, el impacto de perturbaciones serán automáticamente compensadas por el bloque MPC.
- d) Una o más restricciones medibles se deben observar en el control del proceso. El bloque MPC calcula constantemente el impacto de una acción de una perturbación o acción de control sobre restricciones. Si el valor futuro de una restricción salida sobrepasa su límite, entonces MPC tomará automáticamente la acción apropiada para evitar que el límite de la restricción sea violado.
- e) La producción está limitada por una o más entradas al proceso. El control del rendimiento del proceso estará incluido en el MPC con el control asociado, con la

⁵ *Comisionar*, Hacer que el Sistema DeltaV reconozca de que dispositivo o instrumento se trata, para que empiece a trabajar, caso contrario sería como que dicho dispositivo no estuviera instalado.

entrada y el límite de producción. El rendimiento del proceso es automáticamente ajustado para mantener el proceso en sus límites de entrada y así alcanzar la máxima producción.

4.2 Método del MPC

Haciendo referencia a (3.21) como el método utilizado para el desarrollo de este controlador con las siguientes variables: Flujo, Presión de descarga, Presión de Succión, Número de unidades trabajando, Viscosidad, Densidad, Velocidad (RPM) de las unidades, Temperatura (Figura 4.1), las cuales intervienen el proceso de bombeo del petróleo desde la estación #1 Lago Agrio hasta el puerto marítimo de Balao, se puede indicar los valores que fueron tomados de la planta para la obtención del modelo del proceso a través de las técnicas de identificación, para control por Presión de Descarga y por Flujo. Tabla. 4.1 (Anexo 6, al final del documento) y Tabla 4.2 (Anexo 7, al final) respectivamente.

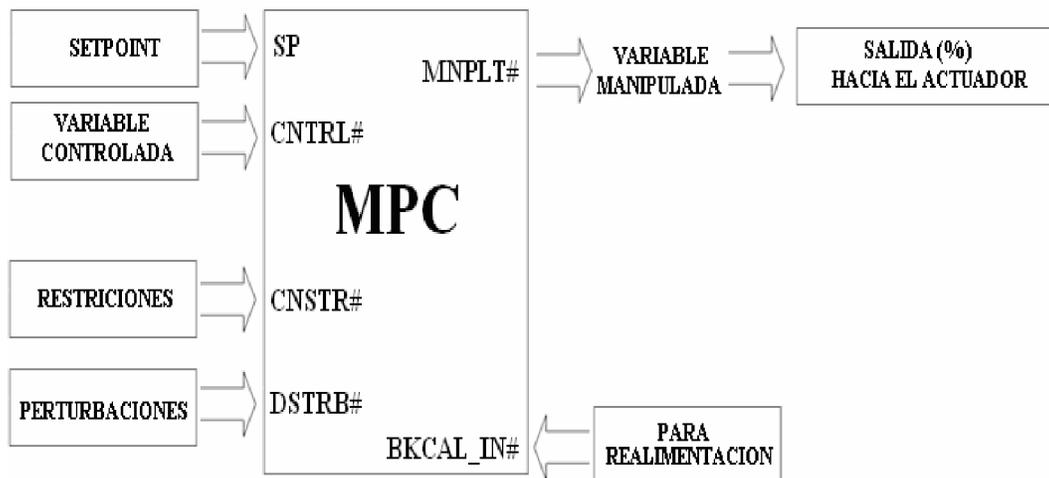


Figura 4.1 Diagrama de bloques del Controlador MPC

Con la ayuda de los datos de las **Tablas 4.1 y 4.2** que constituyen los valores de todas las variables que intervendrán en el desarrollo del controlador, se logró obtener el modelo de la planta a través de las técnicas de Identificación, respuesta ante escalón y respuesta impulsional, de éste modelo se sirve el sistema DeltaV Predict para generar el controlador MPC correspondiente con el modelo obtenido anteriormente.

Los datos de la **tabla 4.1** provienen del test realizado a la estrategia de control a ser implementada, (véase Anexo 5, Figura 4.2), y los datos de la **tabla 4.2** de la estrategia, (véase Anexo 5, Figura 4.3) donde se ubicaron las variables en el MPC según se indican en la **tabla 4.3 y tabla 4.4**, el modelo de control encontrado de acuerdo con los valores conseguidos se presenta en la figura 4. 4 y figura 4. 5, respectivamente.

Del modelo de la planta generado se puede obtener los valores de diseño del controlador como son: Tiempo muerto, Ganancia, Constante de Tiempo de Primer y Segundo Orden, Constante de Tiempo de Adelanto, cuyos valores se muestran en la Figura 4.6 (P-Descarga) y Figura 4.7 (Flujo), además con estos se pueden rediseñar el modelo del proceso, cambiando los valores por los que se desea, obteniendo un nuevo controlador que puede estar o no de acuerdo con el proceso real.

Variabes del Controlador MPC	Variabes de Proceso	Unidades
CNTRL1	P-DESCARGA	psi
CNSTR1	VEL-MEDIA	RPM
CNSTR2	# UNIDADES	-
MNPLT1	SALIDA	(%)
DSTRB1	FLUJO	BPPH
DSTRB2	DENSIDAD	°API
DSTRB3	P-SUCCION	Psi

Tabla 4.3 Variables que intervienen en el controlador por Presión de Descarga

Variabes del Controlador MPC	Variabes de Proceso	Unidades
CNTRL1	FLUJO	BPPH
CNSTR1	VEL MEDIA	RPM
CNSTR2	P-DESCARGA	Psi
CNSTR3	TEMPERATURA	°F
CNSTR4	VISCOSIDAD	-
MNPLT1	SALIDA	(%)
DSTRB1	P-SUCCION	Psi
DSTRB2	# UNIDADES	-
DSTRB3	DENSIDAD	°API

Tabla 4.4 Variables que intervienen en el controlador por Flujo

Se tomó los datos por alrededor de 20 minutos (depende de el número de ciclos, y del tiempo para estado estacionario que se desee), el sistema DeltaV lo hace aproximadamente cada dos segundo de tiempo, es decir, para la realización del controlador se tuvieron aproximadamente 600 muestras de valores de variables de la planta, por cada prueba de las diferentes conexiones que se deseen realizar.

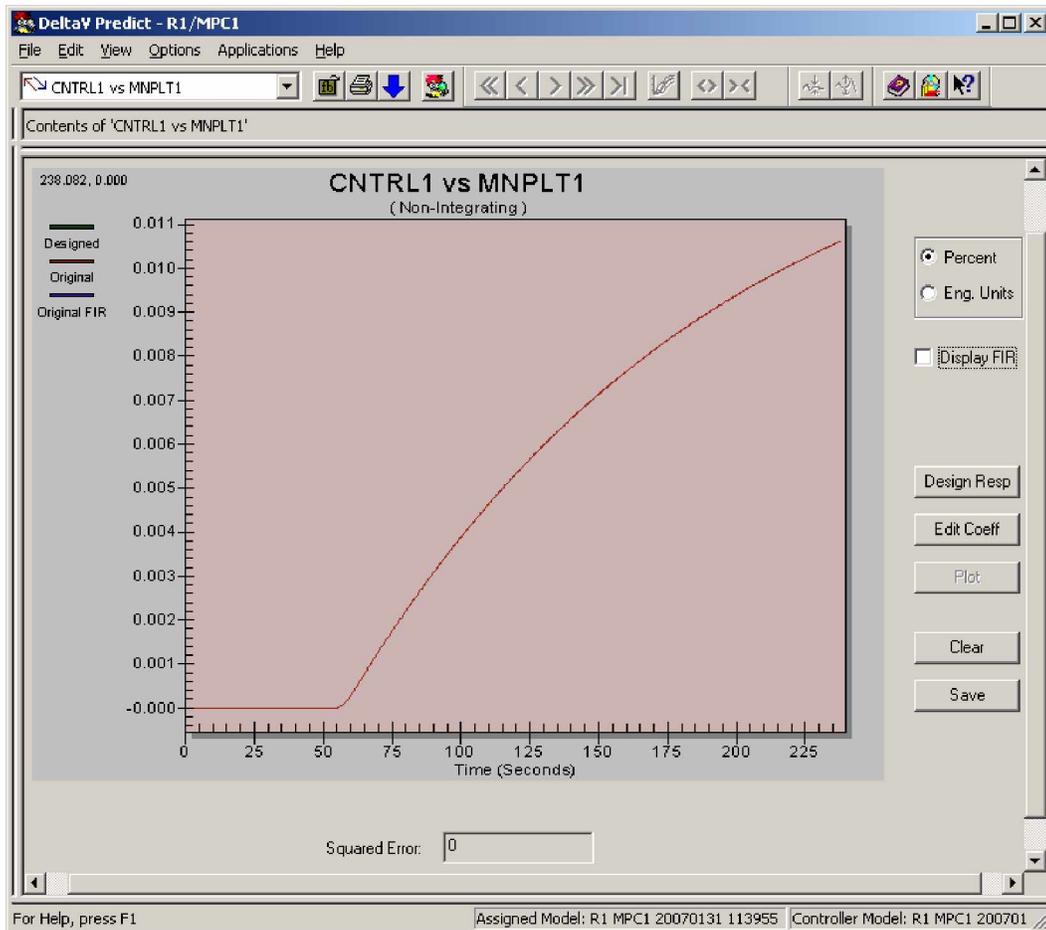


Figura 4.4 Respuesta del proceso para controlador por Presión de Descarga

En la tabla 4.3 y tabla 4.4 se indica como se encuentran hechas las conexiones para que el controlador MPC empiece a tomar los datos de la planta, luego de que se presione el botón **Test**, para cada uno de los controladores y así produzca la respuesta al escalón o impulsional de la planta generando un modelo de control para luego ser asignado al controlador y probar si el resultado de la ubicación de dichas variables es el correcto caso contrario para realizar las correcciones necesarias al módulo.

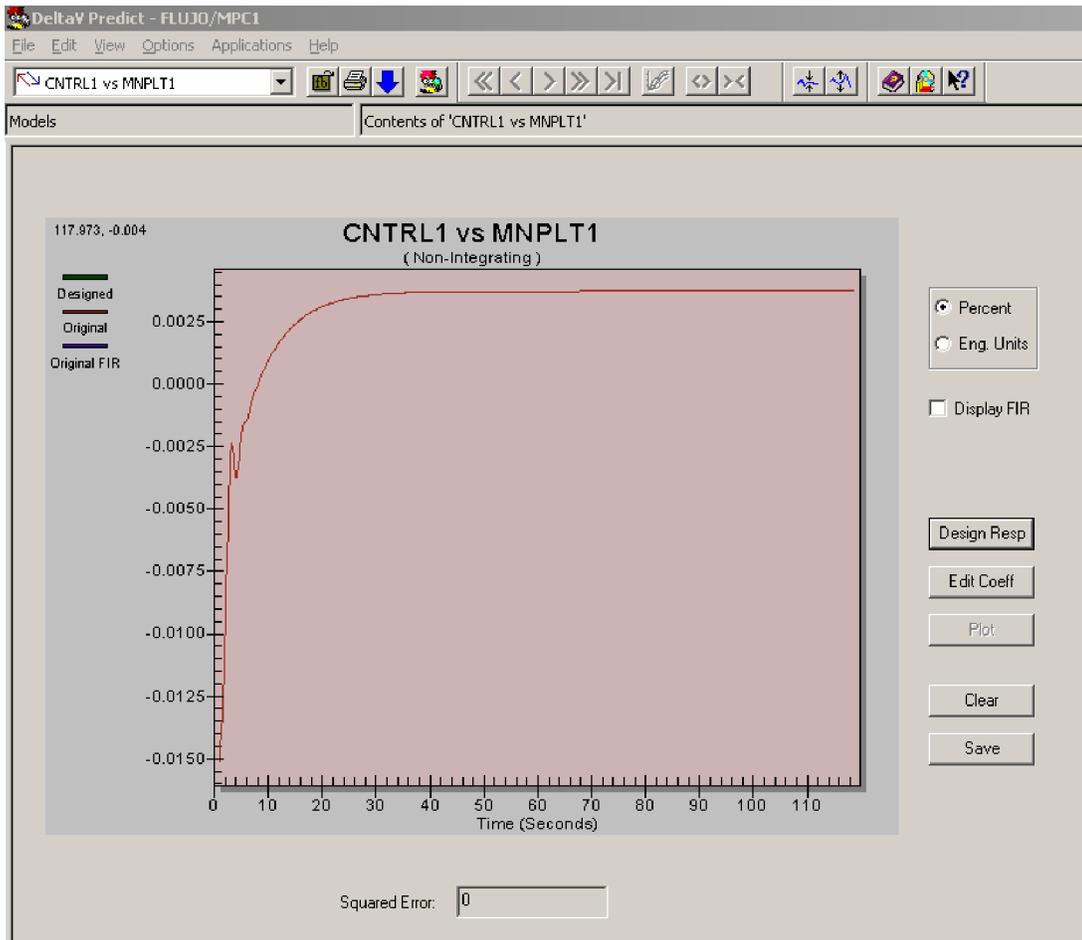


Figura 4.5 Respuesta del proceso para controlador por Flujo

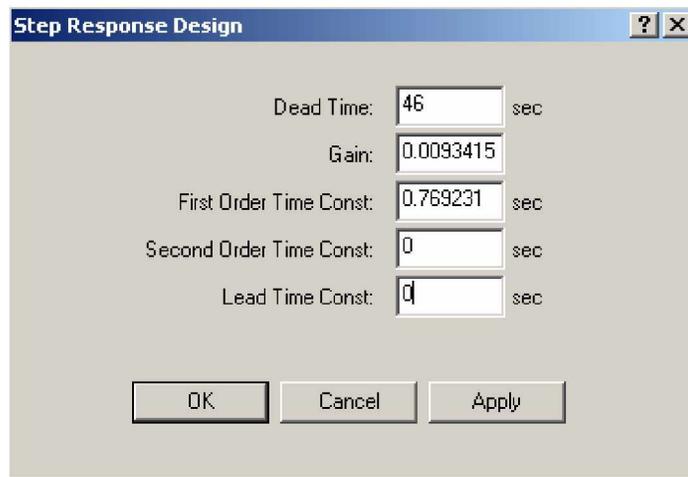


Figura 4.6 Parámetros de Respuesta al Escalón (Control P-Descarga)

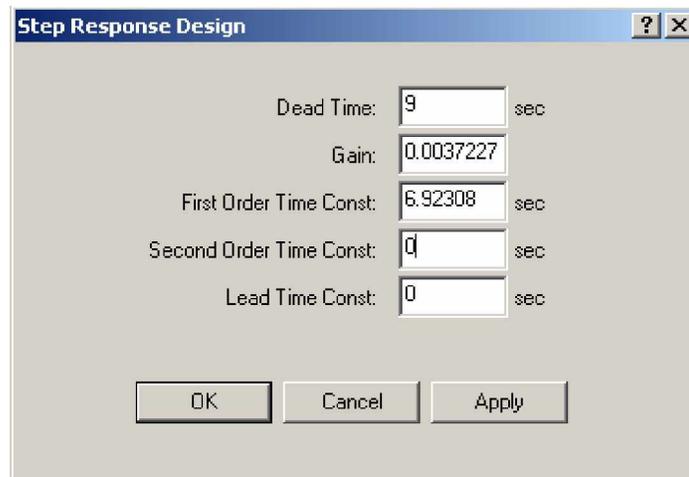


Figura 4.7 Parámetros de Respuesta al Escalón (Control Flujo)

4.2.1 Método de Bristol

La matriz de Ganancias Relativas (RGA) por (Bristol, 1996), técnica que utiliza el MPC internamente como una medida de las interacciones entre las distintas variables del proceso y como una herramienta para la selección de la mejor estructura en sistemas de control descentralizado (multivariable, o multilazo). La selección de las variables se hace con el objeto de minimizar las interacciones entre los bucles de control. Muchas de las más importantes propiedades de los sistemas en bucle cerrado, tales como la estabilidad o la controlabilidad, pueden ser inferidas a partir de la matriz de ganancias relativas (RGA).

Por ejemplo, si se considera el caso con dos variables manipuladas y dos a controlar a partir de las anteriores, Figura. 4.8, Desde una perspectiva de diseño de control, se necesita seleccionar que variable manipulada, u_1 o u_2 , se precisa regular la variable controlada y_1 (evidentemente y_2 será controlada por la otra variable manipulada).

Se procede a tomar esta decisión en función a una estrategia de control que minimice la interacción entre los dos bucles de control. Para conseguir este objetivo se necesita una medida que nos indique el efecto relativo que tiene u_1 en y_1 comparado con el que tiene u_2 sobre y_1 . Conocemos que la ganancia en bucle abierto entre u_1 y y_1 , es (para u_2 constante);

$$k_{11} = \left. \frac{\Delta y_1}{\Delta u_1} \right|_{u_2} \quad (4.1)$$

Para el caso mencionado, en el que se elige la pareja u_2 e y_2 con un controlador con realimentación. Además, el controlador consigue un control perfecto. Esto se muestra en la figura 4.9

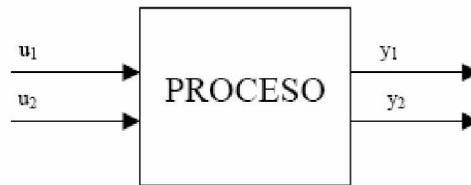


Figura. 4. 8 Proceso con dos entradas y dos salidas

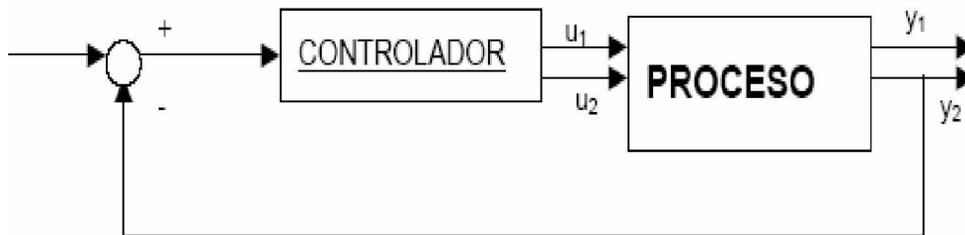


Figura. 4. 9 Proceso controlado con realimentación mediante un controlador

Se puede calcular una nueva ganancia en bucle abierto entre u_1 y y_1 en presencia de este controlador.

$$k'_{11} = \left. \frac{\Delta y_1}{\Delta u_1} \right|_{y_2} \quad (4.2)$$

Las ganancias en bucle abierto k_{11} y k'_{11} no serán en general iguales. En el cálculo de k'_{11} es importante notar que y_2 permanece constante. Si se introduce un cambio en u_1 con objeto de determinar y_1 , este cambio también alterará el valor de y_2 . Sin embargo el controlador instalado para regular y_2 actuará para restaurar y_2 a su valor nominal de cambio u_2 . Este consecuente cambio u_2 también provocará una variación en y_1 . Por tanto

el cambio total en y_1 se deberá a dos componentes – el cambio a u_1 y el debido a u_2 . Por lo que k_{11}' no será igual a k_{11} .

La definición de ganancia relativa es:

$$\lambda_{11} = \frac{k_{11}}{k_{11}'} \quad (4.3)$$

La definición de la matriz de ganancias relativas.

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_{11} &] & \lambda_{1n} \\ \wedge & & \wedge \\ \lambda_{n1} &] & \lambda_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

4. 2. 2 Interpretación de RGA.

Los valores de la ganancia relativa tienen una relación muy estrecha con la controlabilidad de las parejas de variables (manipulada – controlada) y con su interacción con otros lazos de control. Los valores numéricos posibles y su significado son los siguientes:

1. $\lambda_{ij} = 1$ No hay interacción con los otros lazos.
2. $\lambda_{ij} = 0$ La variable manipulada, i , no afecta a la controlada, j .
3. $\lambda_{ij} = 0.5$ Hay un alto grado de interacción. Los otros bucles de control tienen el mismo efecto en la variable controlada, j , que la variable manipulada, i .
4. $0.5 < \lambda_{ij} < 1$ Hay interacción entre los bucles. Sin embargo, podría ser la pareja preferida si minimiza las interacciones.
5. $\lambda_{ij} > 1$ La interacción reduce el efecto de la ganancia en el bucle de control. Se requieren ganancias mayores en el controlador.

6. $\lambda_{ij} = 10$ Las parejas de variables con altos valores de RGA son indeseables. Pueden referirse a un sistema sensible a pequeñas variaciones en la ganancia y posibles problemas en la aplicación de técnicas de control basadas en el modelo.
7. $\lambda_{ij} < 0$ se debe tener especial cuidado con los elementos negativos de RGA. Los elementos negativos fuera de la diagonal indican que al cerrar el bucle cambiará el signo de la ganancia efectiva. Si los elementos de la diagonal son negativos, eso puede indicar “inestabilidad integral”, es decir, el bucle de control es inestable para cualquier controlador.

4.3 Estudio de la herramienta MPC y la aplicación DeltaV Predict

En este punto del Capítulo se expone una descripción de cómo la herramienta MPC del *DeltaV Predict*, puede ser usada para direccionar una variedad de aplicaciones de control multivariable dentro de los procesos industriales.

4.3.1 Descripción de la herramienta DeltaV Predict.

DeltaV Predict ofrece un nuevo acercamiento a lo que se refiere a la implementación de control avanzado como lo es MPC. Usando la herramienta bloque de función MPC del DeltaV Predict se puede realizar muchas estrategias de control basadas en modelos multivariables que son mucho más fáciles que implementarlas con herramientas PID tradicionales.

Aunque muchas técnicas de control tradicionales dentro del sistema DeltaV son designadas para proporcionar un buen funcionamiento del control, incluso cuando la ganancia y dinámicas del proceso cambian las condiciones de operación y de rendimiento, Figura. 4.10.

DeltaV Predict puede ser usado para crear modelos de procesos automáticamente y definiciones de control con los datos del proceso sin necesidad de parar la planta para poder tomarlos. La característica del test automatizado de la aplicación DeltaV Predict

permite la respuesta al escalón del controlador o salida de una restricción basada en los cambios de la entada manipulada. Esta capacidad puede ser usada para reunir los requerimientos de control multivariable en procesos industriales.

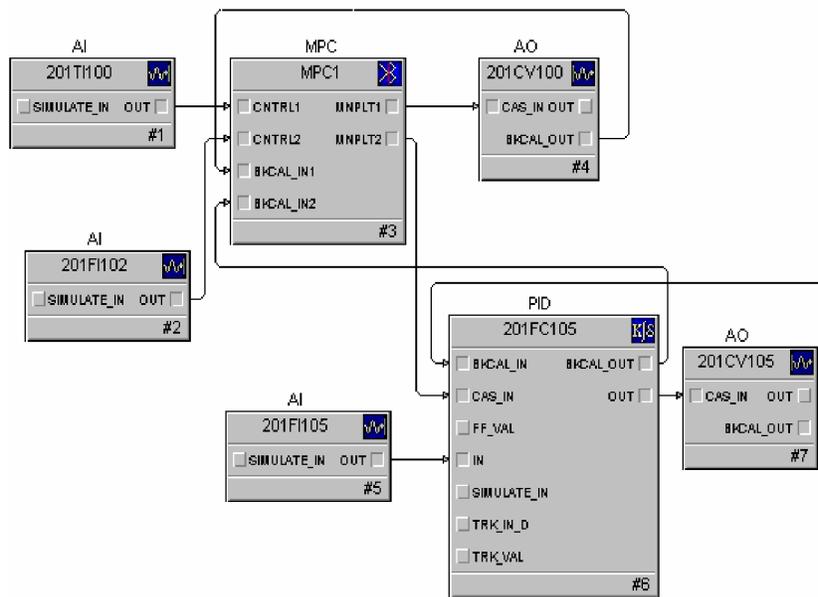


Figura. 4.10 Implementación del Bloque Función MPC en DeltaV

DeltaV Predict implementa el control predictivo multivariable en este ambiente. Esto permite el control de procesos interactivos en presencia de operaciones de restricciones medibles que al mismo tiempo automáticamente se da cuenta de la interacción de procesos y perturbaciones medibles, por tal razón admite numerosos procesos multivariables de pequeño y medio tamaño (2x2, 3x3 u 8x8).

4.3.2 Herramientas

- § Bloque de Función Modelo de Control Predictivo (MPC), permite implementar las estrategias de control multivariable.
- § Bloque de Función de Simulación (MPC Simulate), permite crear sistemas de entrenamiento.
- § Aplicación Predict, permite la comisión del bloque de función MPC y crea modelos de procesos para usarlos con el bloque de función MPC Simulate.

§ Aplicación MPC Operate y MPC Dynamos, habilita al operador para ver e interactuar con el control implementado con el Bloque MPC.

4.3.3 Características

- Controla la totalidad de las unidades del proceso como una sola entidad en lugar de una colección de lazos o variables individuales.
- Incrementa de una manera beneficiosa trabajando más cerca con las restricciones de los procesos y sus límites.
- Estabiliza la operación del proceso y disminuye el consumo de energía, reduce desperdicios, mayor controlabilidad de los procesos reduciendo variabilidad
- Se pueden realizar tests y entrenamientos de los operadores de control MPC en modo (Off-Line) con simulaciones que no se encuentran fuera de la realidad.

La principal idea del sistema DeltaV es obtener un gran rendimiento del procesamiento, a más de reducir la variabilidad e incrementar los beneficios, usándolo para implementar estrategias de modelos de control predictivos multivariados. DeltaV Predict utiliza el sistema de control de matriz dinámica para fácilmente aplicar la interacción de procesos y sus dinámicas más difíciles, la diferencia entre las implementaciones de control tradicional con implementaciones de control avanzado puede notarse en la figura 4.11, en la cual se observa un cambio total, pues a más de mejorar el sistema de control se tiene una idea mejor de cómo funcionan las variables dentro del proceso.

4.3.4 Beneficios

Entre los principales beneficios que esta herramienta presta podemos citar los siguientes: [19]

§ Mejorar la calidad del producto reduciendo variabilidad.

§ Incrementa el rendimiento de procesamiento con restricciones de procesos presentes.

§ Ahorrar tiempo usando el desarrollo del modelo automatizado.

§ Tests y entrenamientos de operadores de control MPC en modo Off – Line.

4.4 Bloque de Función Modelo Predictivo de Control (MPC)

El Bloque de Función MPC, Figura 4.12 es la base de la implementación de control multivariable en el sistema DeltaV. El bloque MPC puede reemplazar la función PID estándar y otros bloques que pueden ser usados para implementar cualquier sistema como retroalimentación y otros.

El Bloque MPC está contenido en una gama de control avanzado. Se puede configurar y descargar este bloque de función en la misma forma de cómo se lo hace con las otras herramientas de control dentro del DeltaV. El usuario define todos los parámetros en el bloque de función MPC (variables manipuladas, perturbaciones, restricciones y controladas), para el proceso deseado usando Control Studio. De éste, el usuario puede iniciar la aplicación DeltaV Predict.

El diagrama esquemático del bloque MPC, Figura 4.13, sirve para entenderlo de mejor maneja como funciona el controlador, su configuración y modo de trabajo, además entender como realiza el control de la planta. Además no se debe cambiar la configuración de la colección histórica determinada por el bloque de función MPC. A través de la aplicación Predict, las entradas manipuladas del proceso pueden ser cambiadas automáticamente y el historial de datos puede almacenar para reflejar la respuesta del proceso a esos cambios.

4.4.1 Bloque MPC y su Cableado

Este bloque MPC puede ser cableado con bloques de entrada y salida que son asignados a transmisores y válvulas tradicionales y HART. También puede ser usado con dispositivos fieldbus. Todos los bloques de funciones conectados con el bloque MPC deben contener un parámetro de escalamiento. Durante la ejecución de MPC, este

escalamiento es automáticamente leído por el bloque MPC y usado como escalamiento de estrada salida dentro del bloque. Si una de las entradas del bloque MPC están conectadas hacia un bloque que no tiene ningún parámetro de escalamiento (por ejemplo, un bloque de calculo) se requiere indiscutiblemente de un bloque de escalamiento (Scaler Function Block).

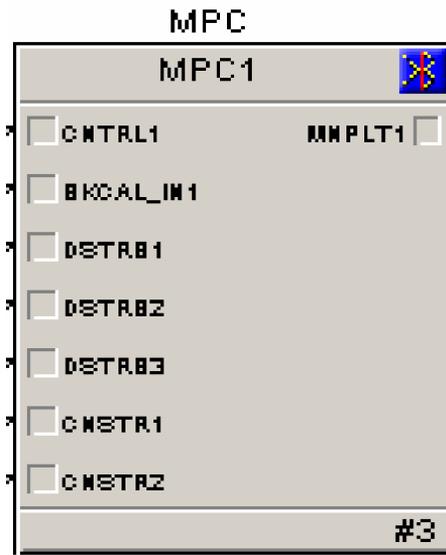


Figura. 4. 12 Bloque de Función MPC

Las salidas manipuladas deben estar directamente cableadas con entradas como CAS_IN, RCAS_IN o ROUT_IN. Si el bloque MPC está siendo usado para remplazar a un bloque PID, es típicamente cableada a un bloque de salida AO. Aunque, para muchas otras aplicaciones la salida del MPC como una entrada en cascada de un PID, o FUZZY Logic que proporcionan una entrada de proceso. En tales casos la salida manipulada se convertiría en el Setpoint de un nuevo proceso.

Como cualquier otro tipo de Bloque dentro del Delta V, se debe cablear el BKCAL_OUT, ROUT_OUT ó RCAS_OUT (si la salida manipulada esta cableada a ROUT_IN ó RCAS_IN) hacia el bloque de entrada BKCAL_IN del bloque MPC. Incluso sin hacer variar la estrategia de control ya implementada se puede utilizar el bloque de función MPC como un bloque de redundancia por razones de seguridad

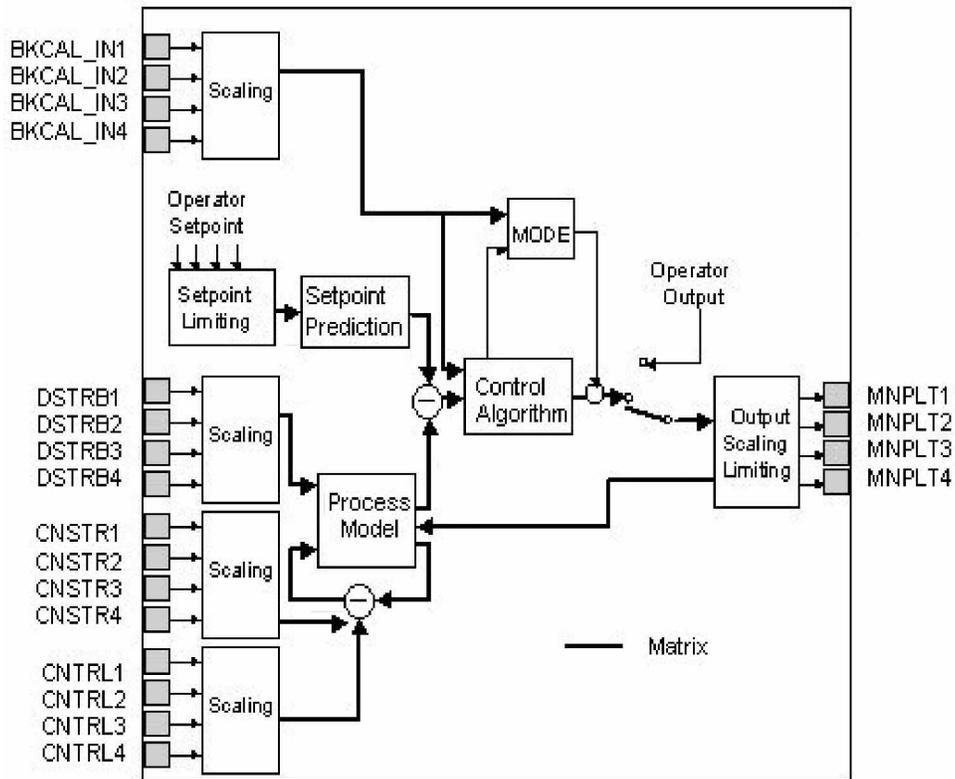


Figura 4.13. Diagrama esquemático del Bloque MPC

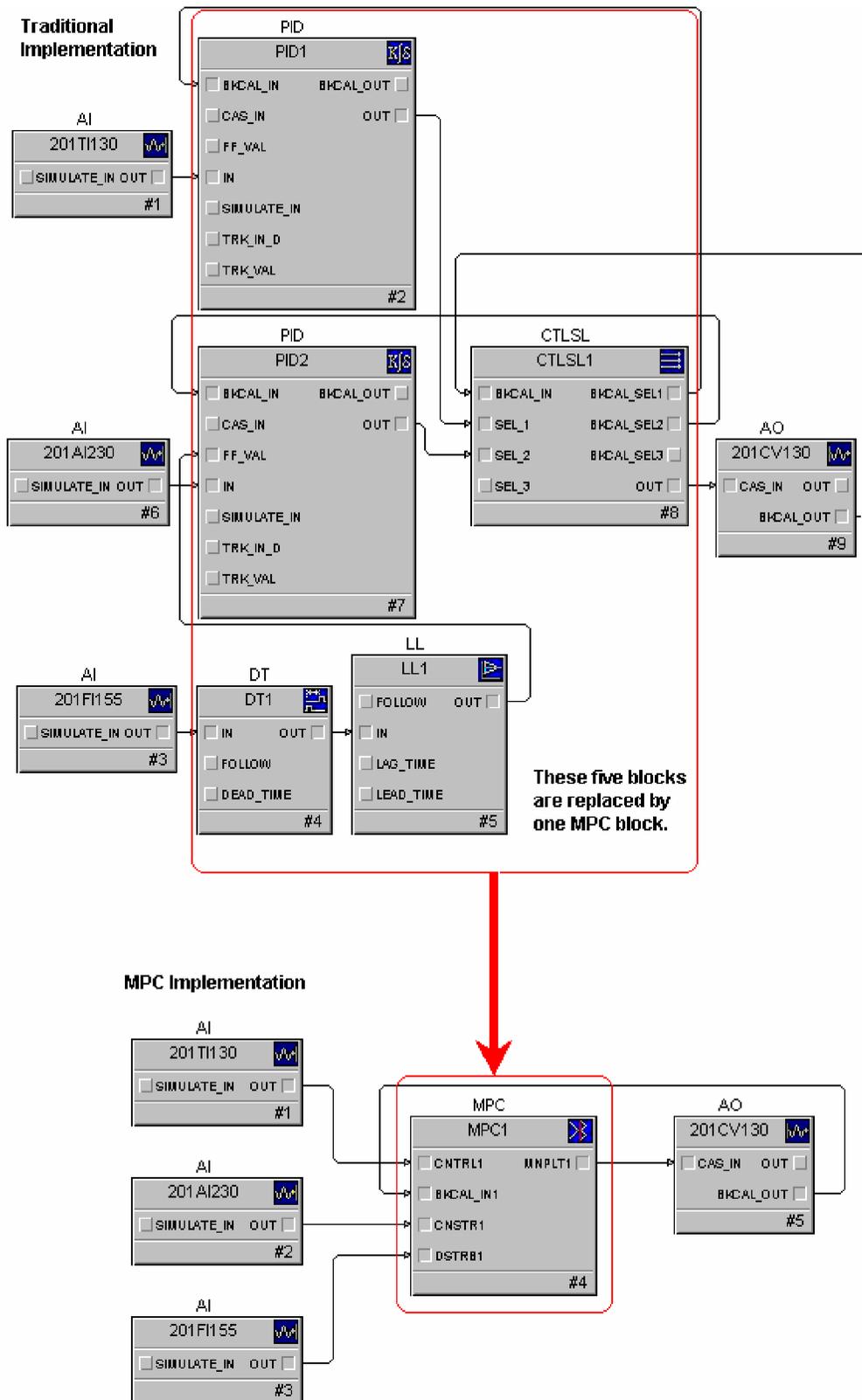


Figura. 4. 11 Implementación Tradicional vs. MPC para aplicaciones con parámetros como perturbaciones, restricciones.

CAPÍTULO 5

EL SISTEMA DELTAV, SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR

5.1 Introducción

El desafío principal de esta tesis es poner en práctica muchas de las ideas adquiridas a lo largo de toda la carrera de Ingeniería en Automatización y Control Industrial en la universidad con las nuevas herramientas utilizadas durante el desarrollo de la misma la cual consiste en el sistema DeltaV Predict.

Se eligió este problema de mejoramiento u optimización de la estación Lago Agrio pues se deseaba una aplicación en la industria rica en diversas temáticas como es la simulación de sistemas físicos, electrónicos, mecánicos, control y técnicas nuevas de software para PC en tiempo real.

La técnica de control elegida, el MPC, permitirá un control integral de toda la planta siendo necesario la inclusión de variables como son: *Flujo, Densidad, Velocidad de la Unidades (RPM), Número de Unidades que se encuentra trabajando, Presión de Descarga* (variable Controlada), *Presión de Succión y Temperatura*, cada uno de estos parámetros son los que se encuentran influyendo en el desempeño general de la planta. De esta manera se obtendrá una mejor idea de cual es su comportamiento individual y en conjunto de todo el sistema de bombeo.

Dentro de este capítulo se abordará todo lo necesario para el diseño, simulación y posteriormente las bases para la implementación del controlador, además de una idea más clara de cómo se trabaja en ambiente DeltaV y sus herramientas, si dejar de lado que este software puede funcionar bajo sistema operativo Windows NT/98/XP/2003Server, siendo

el utilizado Windows Server 2003 Standard Edition, durante el desarrollo de la tesis, y su sistema DeltaV versión 7.4.1.

5. 1. 1 Sistema de control actual

Mediante el sistema DeltaV se logra monitorear y manipular desde la sala de control, las variables de proceso de toda la estación, brindando así información del desempeño y la seguridad de las diferentes unidades de bombeo.

Las estaciones de bombeo son operadas mediante un lazo principal de control selector entre los PIC respectivos de las presiones de succión y descarga (Véase Figura 5.1), que de acuerdo a los requerimientos del operador regula la velocidad de los motores de las unidades en una rango de operación de 670rpm – 1050rpm.

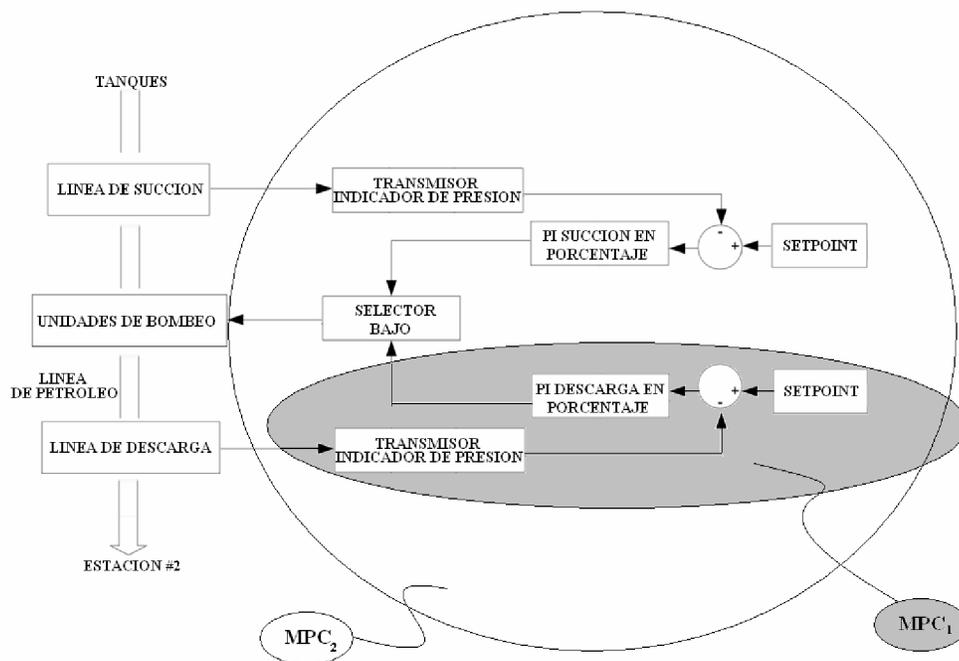


Figura 5.1. Diagrama de bloque del sistema de control estación #1

El controlador a implementar para mejora el sistema de bombeo actual debe tener la capacidad de responder ante cambios que sufran las variables inmersas en el mismo, como se observa en la gráfica se diseñaron dos controladores, el primero para solamente

reemplazar al controlador de presión de Descarga instalado (en plomo), y el segundo para hacer un reemplazo de todo el sistema de control de la planta (en blanco) y empezar a controlar el bombeo por la variable flujo.

En la figura 5.1 se encuentran dos tipos de modelos de control (MPC1 y MPC2) puesto que en un principio sólo se deseaba realizar un mejoramiento al control FLC presente (Plomo), y sólo hacerlo por un controlador predictivo multivariable pero después se anhelaba obtener un comportamiento más general y total de la planta (Blanco) donde se controle por flujo e intervengan las variables principales de todo el proceso de bombeo.

Las variables que intervienen en el desarrollo de los dos modelo de control predictivos presentan características diferentes por separado, por ejemplo el control de la presión de succión es inverso, es decir a mayor presión menor velocidad de bombeo, el control de la presión de descarga es directo, es decir a mayor presión de descarga aumenta la velocidad de bombeo, el control de flujo es directo, es decir a mayor flujo mayor velocidad de bombeo, el control de Temperatura es inverso, es decir mayor temperatura menor velocidad de bombeo, etc.

5. 1. 2 Unidades de bombeo

En cada estación se dispone de siete unidades de bombeo (en Lago Agrio 8 unidades, la una queda en stanby), cada unidad está conformada por una bomba centrífuga “United Centrifugal Pump”, equipada con un motor ALCO de 12, 16 ó 18 cilindros y un incrementador de velocidad Philadelphia, con una potencia total instalada de 103.650 HP, para impulsar el crudo desde la Amazonía hasta la cima de la Cordillera de los Andes hacia la Costa en Esmeraldas.

Para controlar la secuencia del motor mostrado en la figura 5.2 existe un módulo de control de velocidad (Anexo 8, figura 5.3). Donde el bloque *CALC1* gobierna todas las acciones del módulo de control mediante la expresión que se muestra junto al mismo y el bloque *CALC4* hace la conversión de la velocidad promedio a la escala antes mencionada.

La secuencia que utilizan los motores ALCO se presenta en la figura 5.4. La unidad que va a entrar en funcionamiento, primeramente se debe realizar un arranque preventivo (condiciones necesarias: verificación de alarmas, temperaturas, presiones en los diferentes dispositivos, apertura de las válvulas de combustible y aire. Alineamiento de arranque de las válvulas de succión (abierta), descarga (cerrada) y bypass (abierta)).

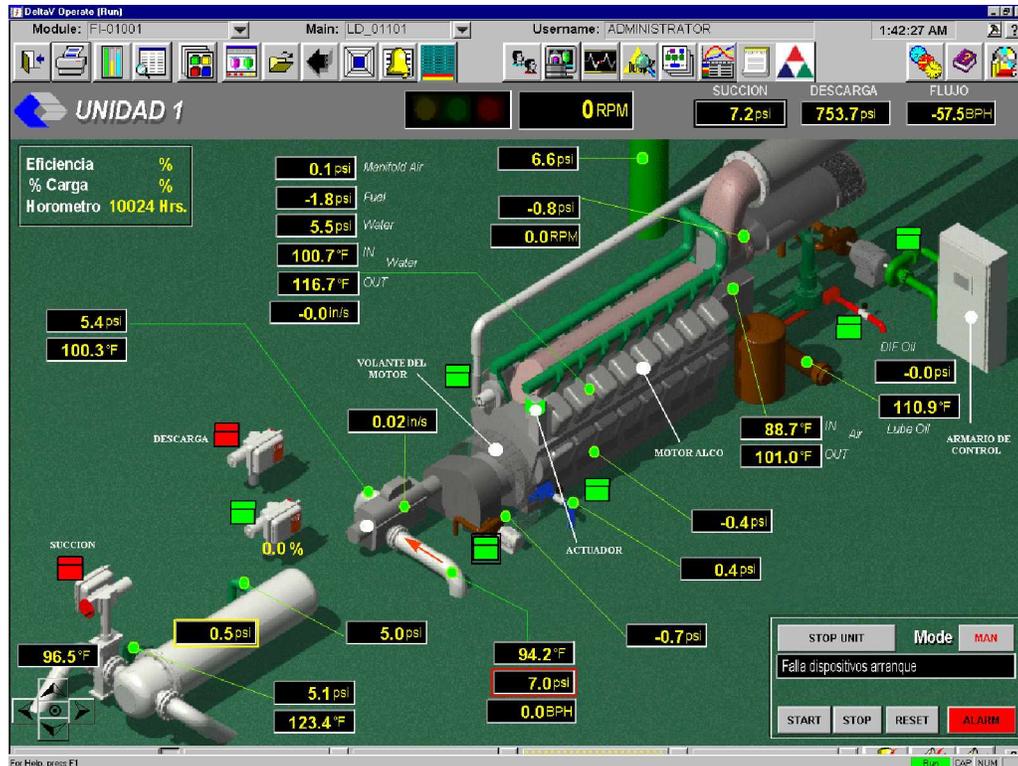


Figura 5.2 Unidad de Bombeo N° 1

En la sala de máquinas, se acciona el paso de aire al motor de arranque neumático. Hasta que el motor ALCO alcance la velocidad de vacío o ralenti de 670rpm (en un máximo de 3 min.), se activa el horómetro de puesta en línea.

Entonces se activa el control automático de velocidad de los motores ALCO en el sistema DeltaV que administra ESCALA2 desde los 670RPM (0% corriente 4mA) hasta 1050 RPM (100% corriente 20mA); de esta manera elevan la presión de succión desde aproximadamente 150 PSI a 1500 PSI con todas las unidades funcionando y a toda su capacidad.

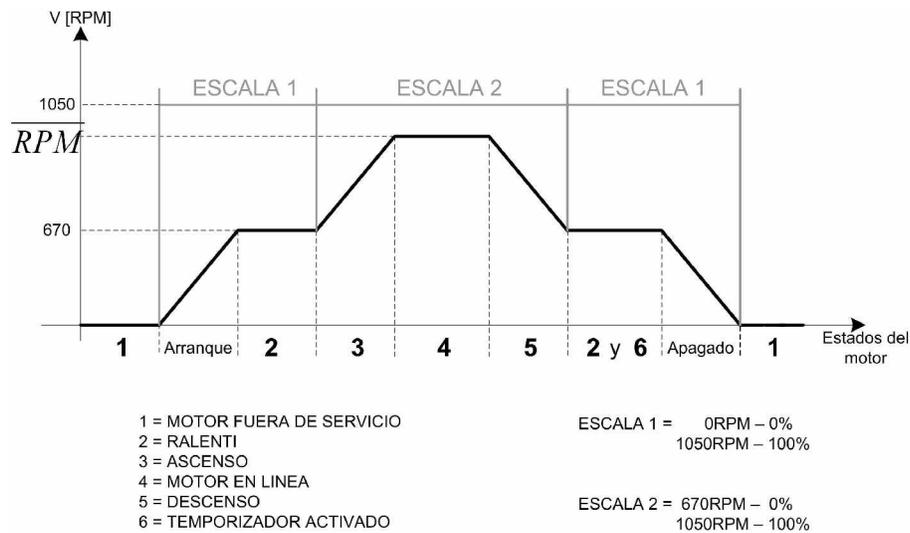


Figura 5.4 Secuencia de los motor es ALCO

5.2 Resolución del Problema

Antes de haber realizado cualquier proceso para diseñar este nuevo controlador predictivo básicamente se encontró con un problema, el cual fue que éste Bloque de Función MPC necesita de una Licencia para su operación en el sistema DeltaV con dos o más variables manipuladas, situación que fue reparada con la idea de trabajar con una sola variable a controlar (ya sea P-Descarga o Flujo).

Posteriormente ya dentro del ambiente DeltaV los primeros pasos fueron la familiarización con este nuevo software de trabajo, su funcionamiento y técnicas de operación (software – planta), luego de estar inmiscuido dentro de este ambiente lo que a continuación se necesitaba comprender es el funcionamiento general del proceso de bombeo de Petróleo de la estación Lago Agrio, para así tener un conocimiento más exacto para el desarrollo del controlador, puesto que se necesita conocer en gran parte como actúan cada una de las variables que van a estar incluidas en el diseño del MPC.

Partiendo de la información descrita en la parte de introducción, la idea principal del control a ser diseñado, simulado y posteriormente a ser implementado es utilizar los distintos parámetros necesarios para que el controlador multivariable funcione

adecuadamente permitiendo un mejoramiento en el bombeo de la estación principal de donde parte el petróleo hacia las demás estaciones hasta llegar al puerto marítimo Balao para su transporte, tales parámetros son: *Presión de Descarga, Presión de Succión, Flujo, Densidad, Temperatura, Viscosidad, Número de unidades en línea, velocidad media de las unidades (RPM)*. Estas variables proporcionan una ayuda para precisar de mejor manera el comportamiento general de la planta.

Para cumplir con el objetivo de esta tesis se utilizó el Bloque de Función MPC del DeltaV Predict, de esta manera, se podrá incluir las variables antes mencionadas para diseñar el controlador predictivo multivariable, no se realizó con las técnicas tradicionales debido a que se necesitaba un control más robusto, confiable además eficiente, como se noto en el capítulo anterior varios bloques de técnicas tradicionales de control pueden ser sustituidas por un solo bloque de control MPC, por tal razón con la ayuda de esta herramienta se consigue una implementación que va de acuerdo a las características deseadas para la planta.

Finalmente se consiguió obtener un controlador MPC (para Descarga y Flujo), estable y robusto que mejora el sistema de bombeo de la estación Lago Agrio.

5. 2. 1 Análisis de Software y Hardware

DeltaV es un sistema de automatización que ofrece un software y hardware de fácil uso para control avanzado de plantas industriales. El sistema DeltaV se puede implementar tanto en plantas discretas como en plantas analógicas, realizando también control en elementos que trabajen con el protocolo



Fieldbus, HART, DeviceNet, etc. DeltaV permite definir alarmas además monitorear las variables controladas y manipuladas de la planta. Éstas variables se pueden medir o graficar en una interfaz gráfica amigable para el operador. La comunicación entre el

controlador y la estación de trabajo se realiza mediante una conexión IP a través de la red local, la cual se puede implementar con mecanismos que evitan la pérdida de comunicación.

5. 2. 1. 1 Arquitectura DeltaV

El sistema DeltaV es una parte de la arquitectura PlantWeb de Emerson, una arquitectura de planta probada que usa el poder de la inteligencia predictiva para mejorar su funcionamiento. Figura. 5.5, para aplicaciones de control de procesos críticos donde no pueden permitirse interrupciones, el sistema ofrece redundancia en los controladores, de esta manera se puede agregar un controlador en modo de espera, de modo que cuando se detecte una avería entre en funcionamiento y asuma el control evitando pérdidas de información u otros daños.

5. 2. 1. 2 Interfaz de Operación con el Operador

La interfaz DeltaV funciona en PC's certificadas, es decir, especialmente en sistemas operativos como Windows NT Server, Windows 2003 Server, aunque también lo hace en Windows XP. La interfaz DeltaV se comunica con el Operador (HMI) y presenta los cambios que se realizan en la planta.

5. 2. 1. 3 Hardware de Control DeltaV

El hardware de control DeltaV consiste de una variedad de módulos de entrada – salida conectados a una computadora de control digital localizado con los módulos I/O. Todos estos controladores están unidos a una red DeltaV que funciona como redundancia, los cuales incluyen las estaciones de ingeniería y las estaciones de operación.

5. 2. 1. 4 Software DeltaV

DeltaV está diseñado para modelos de control avanzados. Además control tradicional PID, en el cual DeltaV puede sintonizar automáticamente, DeltaV puede ser configurado

para proveer un modelo del proceso como en el caso de modelo de control predictivo, redes neuronales, lógica fuzzy, y análisis de variabilidad.

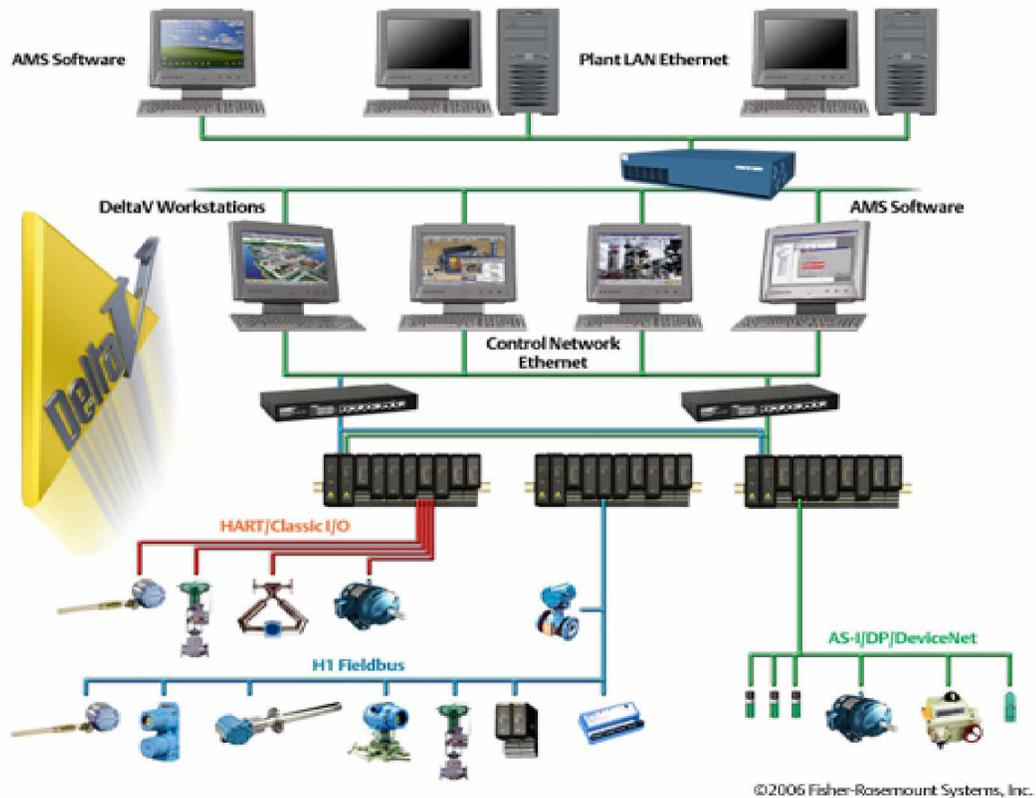


Figura. 5. 5 Arquitectura DeltaV

Estas tecnologías de control digital pueden reducir la variabilidad del proceso, reducir el tiempo de arranque y todo un mejoramiento del funcionamiento del proceso industrial. El software para diseñar las estrategias de control esta basado los lenguajes de programación IEC 61131-3⁶.

5. 2. 1. 5 Comunicación con Instrumentos.

DeltaV soporta gran variedad de instrumentos análogos y digitales de entrada y salida. Además puede soportar señales tradicionales de instrumentos análogos, de corriente de 4 – 20mA. Puede ser conectado directamente a los RTD's y termocuplas para medir la

⁶ Estándar en la programación de control industrial (véase Anexo 2)

temperatura sin necesidad de instrumentación adicional. Además Delta V incorpora un amplio protocolo de comunicación digital, incluyendo Foundation Fielbus, DeviceNet, AS-Interface, Profibus y HART.

5. 2. 1. 6 Seguridad en Ambientes peligrosos.

DeltaV puede ser usado para el control en procesos con ambientes peligrosos tales como producción de gas y aceite, refinería y petroquímicas. El sistema DeltaV proporciona un sistema instrumentado seguro el cual da un diagnóstico digital de toda la seguridad que existe en el lazo de control desde la lógica del sistema DeltaV hasta el sensor de seguridad y el elemento final de control. DeltaV provee fácil integración y optimización de la empresa. Herramientas de integración graban un historial de las variables del proceso e importan estos datos hacia una hoja de cálculo. (Excel).

5. 2. 2 Estación de Trabajo

El software DeltaV funciona en una estación de trabajo Intel Pentium, que es una PC Con uno o dos monitores habilitados, o como un servidor conectado a un solo monitor, la selección de la estación de trabajo proporciona el funcionamiento que se necesita para diseñar las estrategias de control y operar el proceso, cada una de estas estaciones tiene que ser etiquetadas con un nombre estándar que en este caso se encuentra designada como PC-01001, por ser la principal y primera de todo el proceso de bombeo.

Todas las estaciones de trabajo usan procesadores Intel Pentium 4, de 32 – bits, con suficiente memoria para las aplicaciones de DeltaV, 2.0 GB de memoria, Disco duro de 80GB 3Gbps SATA (7 200 rpm), con un sistema sólido, seguro, y con total redundancia. (Figura. 5. 6)

5. 2. 3 Red de Control

La red de control (Figura. 5. 7) constituye el backbone del sistema. La red DeltaV es una red estándar con tecnología Ethernet dedicada para sistemas DeltaV. Se puede

interconectar la estación de trabajo y los controladores usando la red de control. Además es una red dual-speed 10/100BaseT, cables ScTp (Screened Twisted Pair) CAT 5 que conectan cada nodo con los switch o hubs de la red [21].



Figura. 5.6 Estación de trabajo

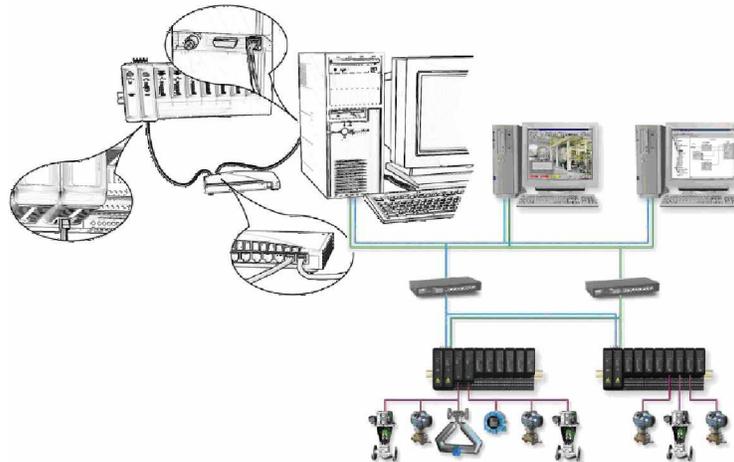


Figura. 5.7 Red de Control

5. 2. 4 Controlador M5 Plus DeltaV

Controlador M5 Plus (Figura. 5.9) proporciona comunicación y control entre dispositivos y otros nodos en la red de control. Las estrategias de control y configuraciones del sistema creados con los primeros sistemas DeltaV pueden hacer uso de estos poderosos controladores. El lenguaje ejecutado en el controlador está descrito anteriormente en el

software de control DeltaV (véase Anexo 2), el lenguaje IEC 61131-3 que soporta tres tipos de lenguajes, es decir, se puede usar las herramientas más apropiadas para el trabajo, utilizando **Librerías** (véase Anexo 3) como Diagramas de bloques de función (FBD), Arreglos de Funciones Secuenciales (SFC), y tests Estructurados (ST) haciendo el desarrollo de la estrategia de control fácil e intuitiva.



Figura. 5. 8 PLC DeltaV M5 Plus

Entre las propiedades que destacan este controlador se nombrará las más importantes:

Direccionamiento Automático; el controlador es único en su habilidad para identificar automáticamente por sí mismo la red de control DeltaV.

Localización Automática; La localización física del controlador es fácil de encontrar. Leds en la parte frontal del controlador se los puede apagar y encender desde la estación de control proporcionando ayuda visual en el campo.

Detección de entradas/salidas Automática; Identificar todos los canales de I/O localizados sobre un subsistema tan pronto como sea conectado.

Control Total; Dirige todas las actividades para los canales de interfaz I/O. además permite todas las funciones de comunicación dentro de la red. Éste ejecuta su estrategia de control hacia la salida en un tiempo de 100 ms.

Protección de Datos; Cada vez que sea instalado dispositivos en el controlador los datos también lo hacen, la instalación de la información es guardada automáticamente.

Alimentación de Energía; Se encuentran habilitadas dos fuentes de poder para sistema DeltaV: Fuente de AC a DC 115/220 VAC y DC y fuente DC 12/24 VDC. Este sistema es muy seguro pues posee conexión redundante

5.3 Control Studio DeltaV

Control Studio DeltaV online permite una gráfica visualización gráfica mediante la cual se puede modificar localizar errores en la estrategias de control. Además puede ver y modificar estas estrategias exactamente a la forma de cómo fueron configuradas. Con este software se realizó las estrategias de control necesarias para la implementación y no requiere de programas de traducción de lenguaje que convierta la estrategia de control gráfica en otra estructura diferente, es decir no existe un lenguaje detrás de las escenas que se pueden ver al diseñar el controlador.



Figura. 5.9 Controlador M5 Plus

En este software se realizó las conexiones de acuerdo con las necesidades de la planta (Figura 5.10), se debe realizar ciertos pasos para el sistema DeltaV reconozca la nueva herramienta de trabajo MPC, proceso de comisiomamiento [20]. El cual consiste en hacerle reconocer al sistema DeltaV de que dispositivo se trata, para ello primero se debe asignar a un Módulo y posteriormente a una estación de trabajo, luego descargarlo de esta manera el DeltaV sabe de que se trata el nuevo sistema que se va a implementar.

5.4 Implementación en la estación Lago Agrio

5.4.1 Programación del MPC.

Para la implementación de este bloque MPC, luego de ubicar las variables como en la tabla 4.3 y tabla 4.4, se debe utilizar el DeltaV Predict para la obtención de los valores

R1 MPC1 20070130 105707 à **Control de Presión de Descarga**
FLUJO MPC1 20070304 153540 à **Control de Flujo**

Luego de que estos modelos hayan sido generados, se procede a asignar al controlador que se desea usar el modelo más adecuado y posteriormente a descargarlo, de esta manera podemos ya en este momento realizar pruebas de funcionamiento para verificar su controlabilidad y su tiempo de respuesta ante cambios de variables en especial de Setpoint. Todo esto se lo puede realizar con la ayuda de MPC Operate [30].

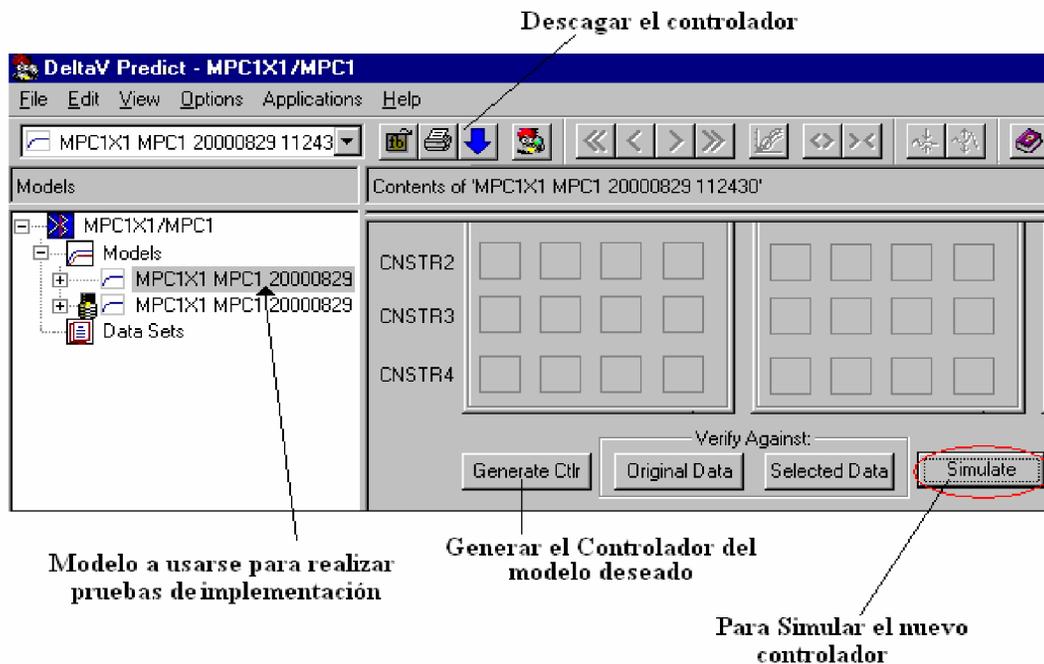


Figura 5.11 MPC Predict y su generación de modelos de procesos

5. 4. 2 Simulación y Pruebas Preliminares Realizadas

Para la realización de la simulación y verificación del funcionamiento de este nuevo controlador se lo hizo en el motor de prueba WOODWAR (figura 5.12) que se encuentra en el taller con un actuador eléctrico (4 – 20mA.), (figura 5.13) como el presente en los motores de las unidades de bombeo, para efectuar esta simulación fue necesario adicionalmente la inclusión de una nueva función de bloque PIN (figura 5.14) en el módulo del deltaV.



Figura 5.12 Banco de Pruebas para el nuevo controlador



Figura. 5.13 Actuador Eléctrico ProAct Model IV Digital Plus

Los programas de simulación son creados añadiendo objetos gráficos al área de trabajo y vinculando tales objetos mediante líneas de unión. Tal vista gráfica consiste en el programa del usuario (DeltaV Control Studio). No son necesarias las tareas de linkado y compilado. El término “objetos” se refiere a bloques función utilizados para construir el programa de usuario.

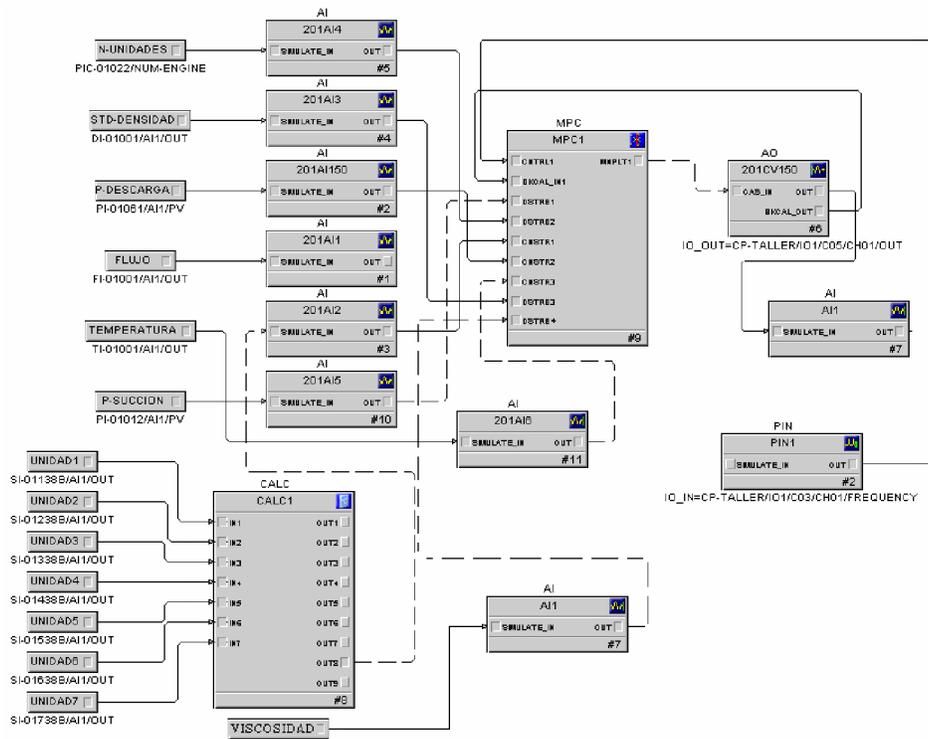


Figura 5.14 Estrategia de control para la simulación en el Taller

Luego de haber realizado las conexiones necesarias para la simulación del nuevo controlador diseñado se procede a la descarga y a probar el mismo. La figura 5.15 fue tomada cuando se efectuaban las pruebas con el actuador ya funcionando con un presión de descarga aproximada de la planta 1419.86psi, una velocidad media de las unidades de 1007.95 RPM, funcionando con 5 unidades, una presión de succión de 115.20, temperatura de 91.5 °F, viscosidad de 38.21 y densidad de 25.78, colocando un Setpoint de 13800 BPH dando como resultado la salida del controlador en forma general un error de 0.048 BPH (figura 2.5) por parte del sistema. Estas pruebas se hicieron en forma excesiva es decir, disminuir e incrementar el valor del Setpoint de 13000 a 1000 BPH y de 1000 a 13800 BPH, pruebas q no se pudieran hacer en la planta real porque se rompería la tubería al aumentar el flujo de forma enorme.

5. 4. 3 Implementación

Primeramente se debe aclarar que por los problemas que está pasando una de las estaciones del SOTE (Quininde) no se puede realizar una parada del sistema de bombeo,

de esta manera no se puede implementar el controlador diseñado pues obligatoriamente se necesita de una parada del sistema para cambiar del controlador actual al nuevo controlador, por tal motivo parar el sistema de bombeo resulta sumamente difícil, y postergaría el termino de esta tesis hasta que se solucione dicho problema. Se dejará de manifiesto las simulaciones realizadas antes de pasar a la implementación como constancia de que el nuevo controlador diseñado es el adecuado para ser implementado posteriormente cuando se solucionen los problemas que acontecen.

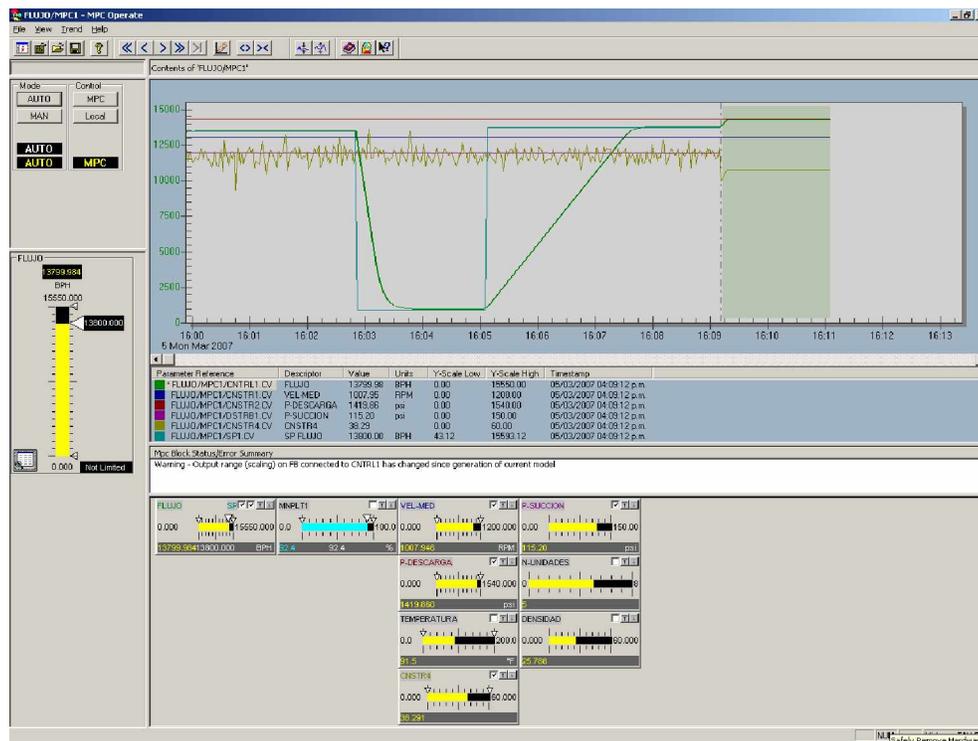


Figura 5. 15. Pruebas Realizadas (Control por FLUJO)

Para la implementación cuando se pueda hacerlo se deberá proceder de la siguiente manera:

1. Se requiere una **parada planificada** del bombeo de crudo para el reemplazo del bloque de función existente actualmente (PID + FLC) por el nuevo controlador MPC dentro del lazo de control principal, pues no se pueden realizar cambios cuando esta funcionando el anterior controlador ya que podría ocurrir en el peor de casos el rompimiento de tubería del oleoducto.

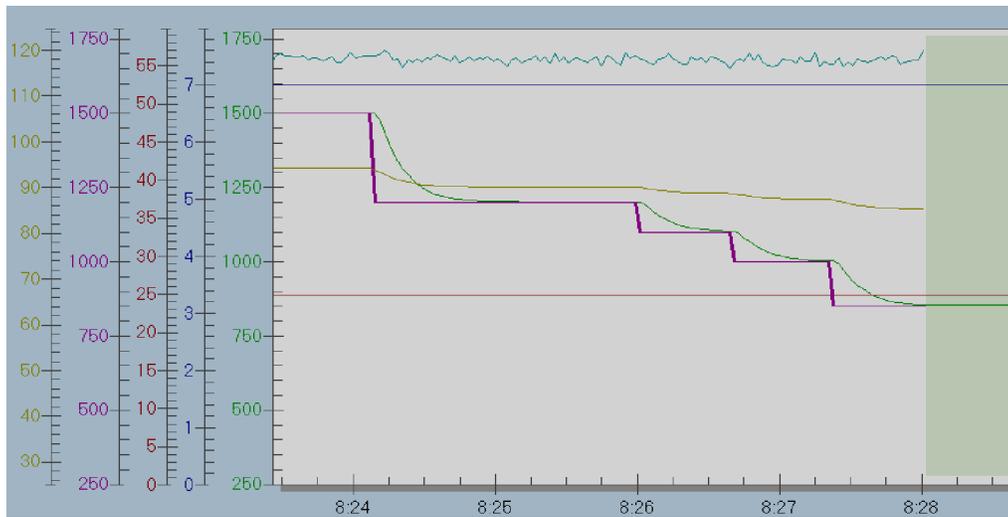


Figura 5.16 Prueba realizadas (Control de P-DESCARGA)

2. **CASO 1:** Si se desear mejorar el sistema anterior por un MPC1 se debe sustituir el bloque FLC en el módulo de control (CP_01001/STATION_CTRL/PIC-01022) para la presión de descarga, por el módulo con bloque de función CP_TALLER/R1/MPC1, con las misma alarmas y condiciones de operación anteriores, pues sólo se cambia un controlador y se sigue controlando por P- Descarga, (Colaboración de Personal de Instrumentación).
3. **CASO 2:** Si se va a reemplazar el sistema actual por el nuevo controlador MPC2 para controlar el SOTE mediante la variable Flujo, entonces se debe diseñar una nueva pantalla de visualización (Anexo 8, figura 5.23) en la cual los operadores puedan realizar el monitoreo y control del sistema de bombeo ya que va a sustituir a los dos controladores (FLC + PID) actuales por uno sólo, (Colaboración de Personal de Instrumentación).
4. Luego de haber reemplazado el controlador existente por el nuevo controlador MPC, se debe asignarlo y descargarlo a CP_01001.
5. Efectuar los chequeos previos necesarios, el operador debe asegurarse que en las cinco estaciones de bombeo, estaciones reductoras de presión y en el terminal marítimo de Balao, todos sus equipos estén en correcto estado de funcionamiento.

Esto lo realizará mediante el sistema de intercomunicación de línea abierta (teléfono rojo), audible a lo largo de todas las estaciones del SOTE Se debe revisar todas las conexiones, (Colaboración Personal de Operaciones).

6. Para que el sistema de control MPC entre en funcionamiento las variables ingresadas como constraints (restricciones) deben estar dentro de sus límites de operación, caso contrario el controlador sólo tomará el valor anterior de setpoint antes de salirse del límite de trabajo, en la Tabla 5. 1 Se detallan los puntos fijos de operación, los cuales no pueden ser sobrepasados puesto que se detectarían alarmas las cuales se activarán y dependiendo del tipo producirían un shutdown total de la planta.
7. El controlador actuará el instante que estos límites hayan sido evitados, entonces el operador podrá ubicar al setpoint deseado de acuerdo a las unidades que se encuentren en funcionamiento, (Colaboración de Personal de Operaciones).
8. Finalmente si existiere algún contratiempo durante la implementación del nuevo controlador, personal de operaciones o instrumentación puede detener inmediatamente cualquier prueba, para revisar la falla y proceder nuevamente con la implementación, para de esta manera comprobar la efectividad del controlador, (Colaboración de Personal de Instrumentación y Operaciones).

NOTAS.-

1. Se operará con una unidad solamente para arranque o parada del oleoducto.
2. En ningún caso la velocidad de los motores Alco excederá las 1030 rpm, ni disminuirá de 970 rpm, y en Quinde los motores CAT operarán entre 820 y 900 rpm.
3. Los puntos fijos de operación están sujetos a REVISIÓN, dependiendo de las características del crudo y las condiciones de temperatura.
4. Solamente cuando una estación reciba crudo en el tanque de 10000 bbl, se podrá mantener diferente número de unidades en línea con relación a Lago Agrio.
5. En Quinde la operación es diferente en relación al número de unidades

ESTACIONES	# UNIDADES	PRESION				VELOCIDAD DEL MOTOR	% CARGA
		FLUJO BPH	SUCCION PSI	DESCARGA PSI			
LAGO AGRIO							
	6	14800	120	1506	1030	90	
	5	14300	120	1464	1030	92	
	4	13800	120	1290	1020	95	
	3	10700	120	1240	1010	96	
	2	7500	120	1000	985	96	
	1	3500	120	975	950	96	
LUMBAQUI							
	6	14800	100	1520	1030	90	
	5	14300	110	1370	1030	92	
	4	13800	125	1330	1030	95	
	3	10700	160	1255	1010	96	
	2	7500	200	1155	985	96	
	1	3500	240	1130	950	96	
SALADO							
	6	14800	470	1640	1030	90	
	5	14300	480	1390	1030	92	
	4	13800	480	1360	1020	95	
	3	10700	500	1290	1010	96	
	2	7500	555	1170	985	96	
	1	3500	580	1140	950	96	
BAEZA							
	6	16500	100	1770	1030	90	
	5	14300	100	1420	1030	92	
	4	13800	120	1380	1020	95	
	3	10700	150	1380	1010	96	
	2	7500	175	1370	985	96	
	1	3500	200	1360	950	96	
PAPALLACTA							
	6	16500	100	1770	1030	90	
	5	14300	100	1420	1030	92	
	4	13800	100	1380	1020	95	
	3	10700	100	1380	1010	96	
	2	7500	115	1370	985	96	
	1	3500	130	1360	950	96	
QUININDE							
	2	16500	100	1030	900	94	
	1	15800	240	980	900	97	

Tabla 5.1 Puntos fijos de Operación del SOTE

Para la sintonización de este nuevo controlador, se deben mantener las mismas alarmas puesto que el mismo controlador se encarga de constantes y demás parámetros que intervienen en la sintonización, en este punto es cuando se debe estar listos para poner en

marcha de nuevo a la estación, además verificar el funcionamiento del nuevo controlador MPC, sin dejar de vigilar su comportamiento ante el cambio de encendido de las máquinas ya que son 7 unidades, de manera que si se detectan cambios bruscos o un comportamiento anormal (con la ayuda de personal del SOTE) se paré inmediatamente el bombeo, para luego revisar nuevamente el controlador generado, en que se encuentra fallando o cual es el problema que se ha detectado para parar el bombeo.

Los parámetros más importantes que no deben descartarse por cuestión de alarmas y que se encontraban presentes en el controlador FLC actual se detallan en la tabla 5.2

PARAMETROS	VALORES
HI_HI_LIM	1540
HI_LIM	1506
MODE	Auto
OUT_HI_LIM	94,736
OUT_LO_LIM	73,684
OUT_SCALE	0,0 to 100,0%
PV_SCALE	0,0 to 2000,0 psi
RATE	0
SP_HI_LIM	1506
SP_LO_LIM	0

Tabla 5.2 Parámetros presentes en el controlador FLC actual

Las variables del proceso que van hacer controladas como se indicó son la presión de Descarga y/o Flujo, para ello se debe tomar en cuenta también valores límites de salida del controlador por razones de seguridad, OUT_LO_LIM y OUT_HI_LIM:

73.7 % – 950 RPM

94.736 % – 1030 RPM

El límite inferior es para evitar sobrecalentamiento de las maquinarias del SOTE, mientras que el límite superior es para protección de presiones altísimas, y evitar roturas en tuberías, por las mismas razones los valores de Setpoint deben tener protecciones para evitar los mismos inconvenientes. El controlador MPC esta listo para mantener estos límites y no sobrepasarlos de manera que sea un sistema confiable para la estación.

5.5 Necesidades Futuras

Debido a los problemas que acontecen en el SOTE, esencialmente en la estación Quininde, la primera y principal necesidad futura sería la implementación en la planta real del controlador diseñado y simulado en el Taller, de manera que finalmente se cumpla con la idea principal del proyecto. De acuerdo a las pruebas realizadas, lo que demostró que el controlador es eficiente ante cambios, estable y robusto (objetivos de la tesis); el personal del SOTE con pocos conocimientos de MPC y la ayuda de esta información estará en la capacidad de implementar el controlador MPC diseñado.

Necesariamente para que el oleoducto funcione de una mejor manera en toda su extensión desde Lago Agrio Hasta Balao se debería estandarizar las estaciones con la implementación del controlador predictivo en cada una de ellas.

Como existen modelos no lineales que son más complejos que los lineales, y por consiguiente su proceso de identificación es mucho más difícil, para lo cual se necesita una gran lista de ensayos para capturar las no-linealidades del proceso, resultando en un período de pruebas considerable. Por tanto, la forma de disponer de una representación correcta de la dinámica del proceso es un problema que no está completamente resuelto. La inclusión del modelo no lineal en la optimización da lugar a que ésta no sea convexa. Se debe realizar mayores esfuerzos para encontrar algoritmos de optimización fiables que permitan la resolución dentro del tiempo asignado.

Vistas las dificultades que aparecen en la aplicación de NMPC, debe poder justificarse el beneficio que este tipo de técnica aporta. Algunos fabricantes ofrecen un MPC de respaldo, de manera que en el caso de que no se necesite ese esfuerzo adicional o el controlador no lineal sea realmente complicado de poner en marcha, se aplicaría la estrategia lineal.

Se debe destacar que ninguno de los productos comerciales incluye restricción terminal ni horizonte infinito, situaciones requeridas en teoría para garantizar la estabilidad

nominal. En lugar de eso, se confía en que con un horizonte de predicción lo suficientemente grande se consiga el mismo comportamiento que horizonte infinito. Además Temas que son aplicables al Control Predictivo en general, funciones objetivos multicriterio, sintonización de parámetros, mal condicionamiento o tolerancia a fallos.

5. 5. 1 Revisión de aplicaciones futuras en las estaciones de bombeo Lumbaqui, El salado, Baeza, Papallacta

Como se observa en el Anexo 9 se encuentran los diagramas de las estaciones de Bombeo (Estación Lago Agrio – figura 5.17, Estación Lumbaqui – figura 5.18, Estación El Salado – figura 5.19, Estación Baeza – figura 5.20, Estación Papallacta – figura 5.21, y Estación Quinde – figura 5.26), existe mucha similitud en sus diagramas por lo que el controlador que se desea implementar en Lago Agrio (Estación #1) se lo puede llegar a implementar en las demás estaciones sin mucha variación, lo único que se debería realizar sería que en cada una de las estaciones tomar nuevamente los datos de cada uno de los sistema, pues aunque forman en general un mismo sistema de bombeo completo, cada una de ellas trabaja por separado en lo que se refiere a variables de los procesos.

En cada estación se dispone de siete unidades de bombeo, cada unidad está conformada por una bomba centrífuga “United Centrifugal Pump”, equipada con un motor ALCO de 12, 16 ó 18 cilindros y un incrementador de velocidad Philadelphia, con una potencia total instalada de 103.650 HP, para impulsar el crudo desde la Amazonía hasta la cima de la Cordillera de los Andes.

En la vertiente occidental de los Andes, el ducto tiene cuatro estaciones reductoras (véase figuras 5.23 – figura 5.24, Anexo9) de presión para controlar el descenso del crudo desde la cima de la cordillera de los Andes hasta el Puerto Petrolero de Balao, en Esmeraldas; estas estaciones son encargadas de disminuir la presión con la que se envía el flujo de petróleo, debido a que cada MPC toma lo datos de su propio proceso se puede diseñar los diferentes controladores de cada estación o reductora para satisfacer cada una de las necesidades de la planta, así si el control a través de la variable flujo, tener el valor exacto de la cantidad de crudo que atraviesa el sistema SOTE, hacia el puerto marítimo de Balao.

En la tabla 1.1 se muestra las ubicaciones de las estaciones y el perfil que debe atravesar la tubería para transportar el petróleo, existe analogía en todas las estaciones de bombeo, por lo que el MPC brinda una nueva técnica que puede ser usada en todo el recorrido del SOTE.

Actualmente la estación #1, Lago Agrio, se encuentra controlando el bombeo de crudo por presión de Descarga, y en las demás estaciones por presión de succión lo que no proporcionaba un control robusto del total de flujo que llegaba hasta el Terminal Balao, por esta razón se desea el diseño de un controlador que satisfaga el control del flujo que llega al puerto de Balao, así se tendrá una idea exacta de la cantidad de flujo que llega al mismo, razón por la cual se debería instalar en todas las demás estaciones de esta manera tener un estándar en toda la Gerencia de Oleoducto.

CAPÍTULO 6

MPC Y SU COMPARACIÓN CON EL MPC NO LINEAL

6.1 Introducción

En los últimos años el Control Predictivo Basado en Modelo se ha convertido en la estrategia de control preferida para una gran cantidad de procesos industriales. Los esquemas de MPC lineal, es decir, los vistos hasta ahora en los que la predicción está basada en un modelo lineal del proceso, se usan de forma rutinaria como una opción de control más a tener en cuenta en ciertos sectores de la industria y se puede decir que sus fundamentos teóricos están suficientemente estudiados.

En este capítulo se expondrá todo lo referente a los resultados obtenidos en la simulación que fue realizada para el modelo de control predictivo a implementarse, los datos obtenidos durante el desarrollo del controlador surgieron de la estrategia de control del módulo CP_TALLER/FLUJO/MPC1 (véase figura 4.2, Anexo 5), el mismo que sirve para un controlador por variable de flujo, además CP_TALLER/R1/MPC1, (véase figura 4.3, Anexo 5) módulo que realiza un control por variable de presión de descarga.

El diagrama de bloques utilizado para la simulación del controlador predictivo ayuda a monitorear constantemente el proceso a controlar y seleccionar el modelo de referencia requerido (si es necesario), el tipo de estructura para obtener el modelo de la planta y el tipo de controlador a partir de una base de conocimientos, como se muestra en la figura 6.1, luego se expondrá un análisis de resultados entre el sistema anterior de control y el nuevo sistema de control implementado, para determinar si su funcionalidad determina un mejoramiento de la respuesta de la planta, sin dejar de lado un pequeño estudio de los sistemas MPC no lineales.

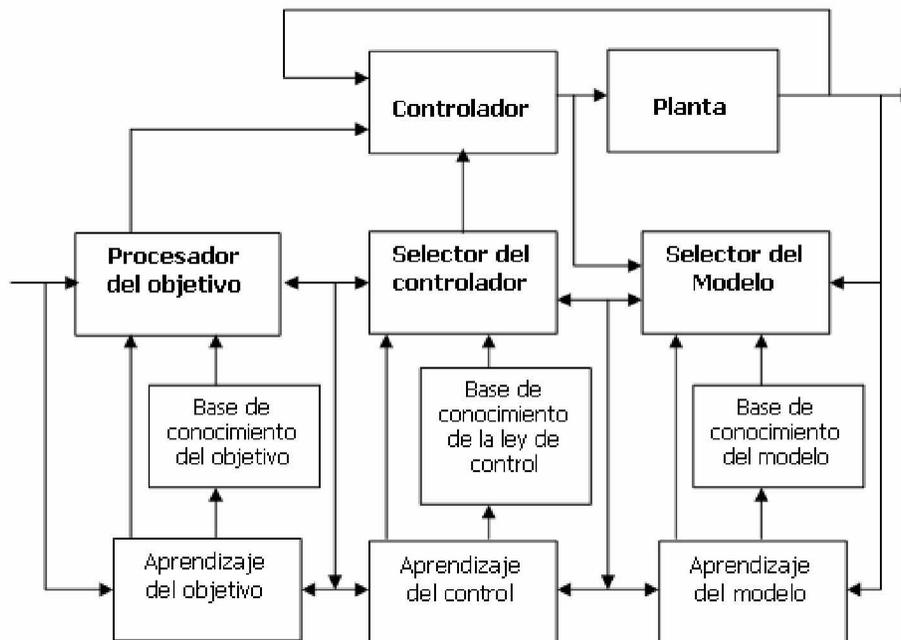


Figura 6.1 Diagrama de bloques de la estructura interna del MPC

El diagrama de bloques debe poseer un conjunto de controladores (que son definidos teniendo en cuenta las diferentes situaciones de la planta) a partir de los cuales se selecciona uno, de acuerdo a una situación particular. Puede darse el caso que se necesite identificar la planta y adaptar los parámetros del controlador en línea (problema de identificación no paramétrica).

6.1.1 MPC No Lineal (NMPC)

El Control Predictivo No Lineal (*Nonlinear Model Predictive Control*, NMPC) surgió hace relativamente poco tiempo y existen pocas referencias de aplicaciones industriales. Pero debido a su capacidad para tener en cuenta las no-linealidades del proceso se espera que se convierta en una opción prometedora a corto plazo.

No hay nada en los conceptos básicos de MPC contra el uso de modelos no lineales, por tanto la extensión de tales conceptos a procesos no lineales es en principio sencilla. Sin embargo, como se verá seguidamente esto no es un asunto trivial y aún hay muchos temas abiertos como:

- § La disponibilidad de modelos no lineales debido a la dificultad de técnicas de identificación para procesos no lineales.
- § La complejidad de los cálculos necesarios para resolver el problema del control predictivo de procesos no lineales.
- § La escasez de resultados de estabilidad y robustez.

En general los procesos industriales son no lineales, pero aún así la mayoría de las aplicaciones de control predictivo están basadas en el uso de modelos lineales, del tipo de los vistos hasta ahora. Existen varias razones para ello: por un lado resulta relativamente fácil identificar modelos lineales a partir de datos del proceso, y por otro los modelos lineales dan buen resultado cuando el proceso opera en las cercanías del punto de trabajo nominal. En el sector petroquímico, donde tiene lugar la mayoría de las aplicaciones de MPC, el objetivo es mantener el proceso en torno al estado estacionario (problema del regulador) más que realizar frecuentes cambios de un punto de operación a otro (problema del servo) y por tanto un modelo lineal preciso es suficiente.

Además el uso de un modelo lineal junto con una función objetivo cuadrático da lugar a un problema convexo de programación cuadrática (QP) cuya solución está suficientemente estudiada en la actualidad, existiendo diversos productos comerciales fiables. La existencia de algoritmos que garanticen una solución que converja en un corto tiempo (menor que el periodo de muestreo) resulta crucial en procesos en los que interviene un gran número de variables.

Sin embargo, existen situaciones en las que los efectos no lineales justifican el uso de la tecnología NMPC. Estas situaciones entran dentro de las dos categorías siguientes:

- § Procesos fuertemente no lineales y sujetos a grandes perturbaciones, como por ejemplo el control de pH.
- § Problemas de seguimiento de consigna en los que el punto de operación cambia con frecuencia y estos cambios sacan a relucir la dinámica no lineal del proceso, como en el caso de la fabricación de polímeros.

En estas situaciones una ley de control lineal puede no ser efectiva siendo necesario el empleo de un controlador no lineal para mejorar el comportamiento o simplemente para una operación estable del proceso. Es por tanto en este caso donde se puede justificar el empleo de técnicas de NMPC. Aunque en la actualidad el número de aplicaciones es aún reducido, el potencial es considerable, como se desprende del informe de Qin y Badgwell [17], donde se observa que MPC no ha penetrado aún en campos donde las no linealidades son fuertes y el mercado exige frecuentes cambios del punto de operación; es aquí donde se espera el auge del NMPC.

6. 1. 2 Diferencias respecto al método lineal

Resulta evidente que la principal ventaja del NMPC frente al MPC radica en la posibilidad de abordar dinámicas no lineales. A medida que aparecen nuevas herramientas que hacen posible la obtención y representación de modelos no lineales, bien a partir de primeros principios (leyes de conservación) o bien a partir de datos experimentales (modelos de Volterra o redes neuronales) el interés por su utilización en NMPC se va acrecentando.

Aunque la extensión de los conceptos de MPC al caso no lineal es directa, a la hora de realizar el controlador aparecen una serie de problemas a tener en cuenta, que dan lugar a una mayor dificultad en su implementación. Las principales dificultades derivadas del empleo de modelos no lineales son:

- § La obtención de un modelo no lineal a partir de datos experimentales es un problema abierto. La utilización de redes neuronales o series de Volterra no parecen solucionar el problema de forma general. Por otra parte, la obtención de modelos a partir de primeros principios no es siempre viable.
- § El problema de optimización es no convexo, cuya resolución es mucho más difícil que un problema de programación cuadrática. Aparecen problemas relativos a la obtención del óptimo global, lo que influye no sólo en la calidad del control, sino también en problemas relacionados con la estabilidad.

- § La dificultad del problema de optimización se traduce en un aumento considerable del tiempo de cálculo, hecho que puede dar lugar a que la aplicación de esta técnica quede restringida a un conjunto de sistemas con dinámica lenta.
- § El estudio de temas fundamentales como estabilidad o robustez se complica enormemente. Este tema constituye un campo abierto de gran interés para los investigadores.

Sin embargo procesos de fabricación son inherentemente no lineales, el amplio uso de aplicaciones de MPC hasta la fecha son basadas en modelos dinámicos no – lineales, siendo los más comunes figura 6.2

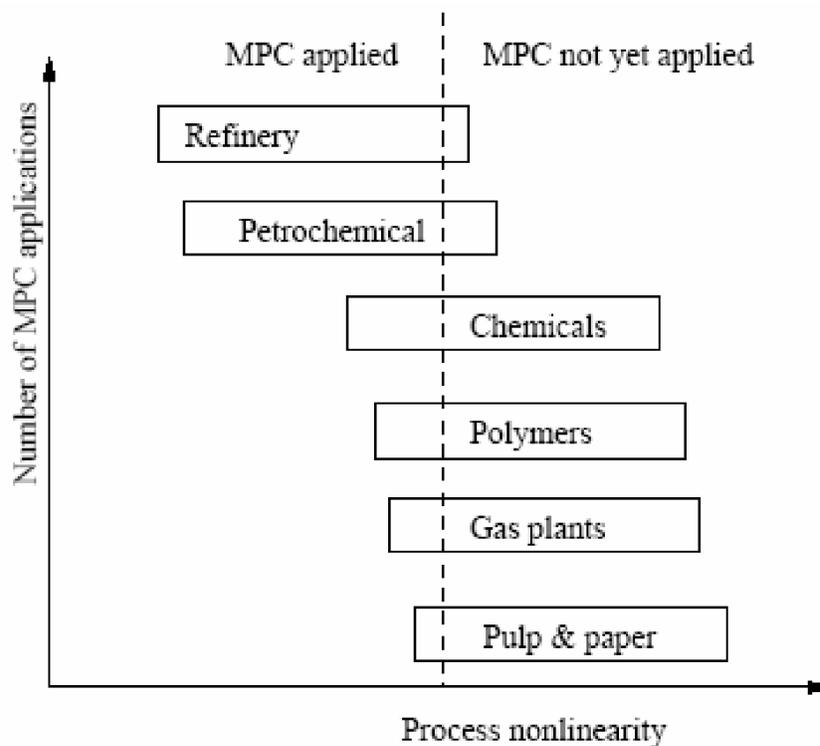


Figura 6.2 Aplicaciones de procesos No-lineales

A continuación se presenta un breve resumen de la teoría de NMPC, propiedades, y algunas aplicaciones del mismo dentro de la industria. Varias implementaciones industriales de NMPC son discutidas en términos de modelos, control, optimización.

6.1.3 Fundamentos teóricos de NMPC

Si se tiene una planta para ser controlada con el siguiente modelo no lineal en tiempo discreto de espacios de estado:

$$x(k+1) = f(k, u_k, v_k, w_k) \quad (6.1)$$

$$y(k) = g(x_k) + \xi(k) \quad (6.2)$$

Donde, $u_k \in \mathfrak{R}^{mu}$ es un vector de mu entradas del proceso o variables manipuladas (MV's), $y_k \in \mathfrak{R}^{my}$ es un vector de my salidas o variables controladas (CV's), $x_k \in \mathfrak{R}^n$ es un vector de n variables de estado, $v_k \in \mathfrak{R}^{mv}$ es un vector de mv perturbaciones medibles (DV's), $w_k \in \mathfrak{R}^{mw}$ es un vector de mw ruido no medible o DV's y $\xi_k \in \mathfrak{R}^{my}$ es el vector de ruido medible.

El problema de control que se solucionará es computar una secuencia de entradas $\{u_k\}$ que llevarán al proceso de su estado actual x_k hacia un deseado estado estacionario x_s . El deseado estado estacionario (y_s, x_s, u_s) esta determinado por una optimización local, la cual podría estar basada sobre un objetivo económico. El estado estacionario optimo debe ser recalculado en cada instante de tiempo porque las perturbaciones entrantes a la planta pueden cambian la localización del punto óptimo de operación.

Uno de los algoritmos que utiliza el NMPC es minimizar la siguiente función objetivo:

$$J = \sum_{j=1}^P \left\| e_{k+j}^y \right\|_{Q_j}^q + \sum_{j=0}^{M-1} \left\| \Delta u_{k+j} \right\|_{S_j}^q + \sum_{j=0}^{M-1} \left\| e_{k+j}^u \right\|_{R_j}^q + \|S\|_T^q \quad (6.1)$$

La ecuación anterior involucra tres contribuciones conflictivas. El comportamiento de la salida futura es controlada por la desviación de penalización de el estado deseado y_s , definido como $e_{k+j}^y \equiv y_{k+j} - y_s$, sobre un horizonte de predicción de largo P . La

desviación de la entrada futura de la entrada en estado estacionario deseada u_s son controlados usando penalización de entradas definidas como $e_{k+j}^u \equiv u_{k+j} - u_s$, sobre un horizonte de control M . Los cambios rápidos son penalizados con un término separado que involucra los movimientos Δu_{k+j} . El último término en la ecuación es usada para minimizar el tamaño de salida de las violaciones de restricciones. La solución es un set de arreglos de entrada M .

$$u^M = (u_k, u_{k+1}, \dots, u_{k+M-1})$$

La primera entrada u_k es inyectada dentro de la planta y los cálculos son repetidos en el siguiente tiempo de muestreo.

6.1.4 Aplicaciones de MPC no-lineales

A pesar de la importancia de los procesos no lineales en la industria, y las condiciones de operación que harían aconsejable un control no lineal, los métodos de control MPC no lineales (NMPC) han tenido muy escaso éxito en las aplicaciones industriales. Una de las razones importantes para esta escasa difusión, sobre todo en relación con los logros de la correspondiente formulación lineal, se debe a la dificultad de generar modelos no lineales de una forma consistente y fiable. En esta tesis se estudia y desarrolla el control MPC.

6.2 Implementaciones industriales de NMPC

En esta sección se describe el algoritmo de control usado en muchos productos NMPC comerciales. En la tabla 6.1 se lista los productos y las técnicas que han utilizado algunas de las empresas en el mundo.

En la Tabla 6.2 se encuentra información detalles de cada algoritmo, incluyendo los tipos de modelos usados, opciones de cada paso en el cálculo de control y el algoritmo de optimización usado para calcular la solución.

Compañía	Nombre del producto (Acrónimo)
Adersa	Predictive Functional Control (PFC)
Aspen Technology	Aspen Target
Continental Controls	Multivariable Control (MVC)
DOT Products	NOVA Nonlinear Controller (NOVA-NLC)
Pavilion Technologies	Process Perfecter

Tabla 6.1 Compañías NMPC y Nombres de Productos

Compañía	Adersa	Aspen Techn.	Continental Controls	DOT Products	Pavilion Technologies
Algoritmo	PFC	Aspen Target	MVC	NOVA NLC	Process Perfecter
Formas del Modelo	NSS-FP, S, I, U	NSS, S, I, U	SNP-IO, S	NSS-FP, S, I	NNN-IO, S, I, U
SS Opt Obj.	CD, ID	CD, ID, EKF	CD	CD, EKF	CD, ID
SS Opt Const.	Q [I, O]	Q [I, O]	Q [I, O]	-	Q [I, O]
Dyn Opt Obj.	IH, OH	IH, OH	IH, OS	-	IH, OH
Dyn Opt Const.	Q [I, O]	Q [I, O, M]	Q [I, O, M]	(Q, A) [I, O, M]	Q [I, O]
Output Traj.	IC, OH	IH, OH, OS	IH, OS	IH, OH, OS	IH, OH, OS
Output Horiz.	S, Z, RT	S, Z, RT	S, Z, RT	S, Z, RT	S, Z, TW
Input parameter	FH, CP	FH, CP	FH	FH	FH
Método de Sol.	NLS	QP, QP-Quick	GRG, GRG2	MCNLP Nova	GRG2

Tabla 6.2 Comparación de tecnología de control NMPC Industrial

6. 2. 1 Problemática asociada al NMPC

La resolución del NMPC plantea nuevos problemas que no existían en el caso lineal relacionados por un lado con la metodología de cálculo de la señal de control y por otro con el comportamiento dinámico del bucle cerrado, básicamente su estabilidad.

6. 2. 1. 1 Resolución

La introducción de un modelo no lineal en el algoritmo de optimización conduce a la pérdida de convexidad, no pudiendo ser resuelto por los algoritmos de programación cuadrática (QP), para los cuales existen soluciones fiables y suficientemente estudiadas.

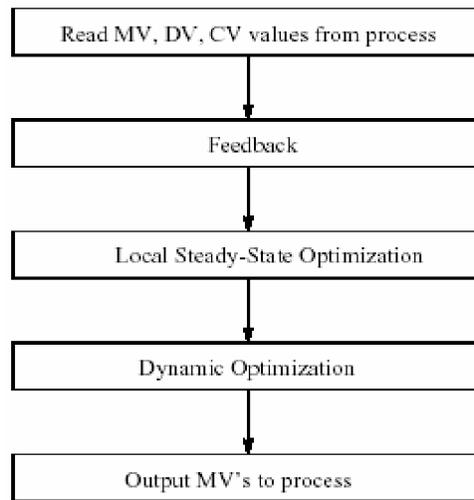


Figura 6.3 Cálculos en un NMPC

Esta pérdida de convexidad hace que sea mucho más difícil encontrar una solución y que, una vez encontrada, no se pueda garantizar que sea un óptimo global. En estas circunstancias el tiempo de cálculo aumenta considerablemente debido principalmente a dos motivos:

- Para la obtención de la secuencia de acciones de control óptima, el paquete de programación no lineal debe evaluar repetidamente la función objetivo y en cada evaluación se debe resolver el sistema de ecuaciones no lineales que componen el modelo de predicción, lo cual conlleva mucho tiempo de cálculo.
- A partir de los datos obtenidos a través de la evaluación de la función objetivo, el programa de optimización debe calcular el gradiente de la función y los próximos puntos de búsqueda, además de comprobar la violación o no de las restricciones y los criterios de finalización del algoritmo. Estas tareas consumen más tiempo de cálculo que en el caso lineal.

6. 2. 1. 2 Estabilidad de la solución

El otro problema fundamental es el de la estabilidad de la solución. Aún en el caso de que el algoritmo de minimización encuentre la solución óptima, este hecho no garantiza la estabilidad del bucle cerrado (incluso en el caso de que el modelo sea perfecto). Este

problema ha sido abordado desde distintos puntos de vista, existiendo en la actualidad diferentes propuestas, las cuales se describen a continuación.

a) Horizonte infinito

Existe una solución que consiste en ampliar los horizontes de control y de predicción hasta el infinito $P - M \rightarrow \infty$. En este caso la función objetivo también sirve como función de Lyapunov, dando lugar a la estabilidad nominal. En el artículo citado se demuestra que si existe solución inicial factible entonces existe solución en cada periodo de muestreo posterior.

Este concepto tiene principalmente un interés teórico sobre el que basar un desarrollo práctico, ya que no es viable una implementación con horizonte infinito. Para llevarlo a la práctica se puede tomar un horizonte lo suficientemente grande, pero esta elección no tiene por que garantizar la estabilidad, ya que las trayectorias de la entrada y el estado diferirán de las trayectorias predichas incluso si no hay incertidumbres ni perturbaciones.

b) Restricción Terminal

Otra solución al problema consiste en añadir una restricción terminal al estado en el algoritmo NMPC de la forma:

$$x(k + P) = x_s$$

Con la imposición de esta restricción, la función objetivo se convierte en una función de Lyapunov para el sistema en bucle cerrado, conduciendo a la estabilidad nominal. Con la introducción de esta restricción el estado al final del horizonte finito es cero y por tanto también lo será la señal de control, con lo que el sistema (sin perturbaciones) se queda para siempre en el origen. De esta forma es como si el horizonte de predicción fuera infinito. El problema de este método es que en la práctica la introducción de esta restricción artificial añade un coste computacional considerable y, lo que es más importante aún, da lugar a una región de operación muy restrictiva, por lo que en la realidad resulta muy difícil satisfacer esta condición.

c) Robustez

Si el estudio de la estabilidad en NMPC resulta de por sí complicado, más aún lo es el de la robustez, es decir, la estabilidad cuando existen errores de modelado. Los resultados de estabilidad de la sección anterior son validos sólo en el caso de que el modelo del proceso sea perfecto. Resulta evidente que esto nunca va a ser cierto en la práctica, por lo que es necesario alguna forma de afrontar la existencia de incertidumbres.

Se puede considerar el problema de la robustez como algo todavía sin resolver para NMPC, aunque existen algunos resultados preliminares. Algunos de los esquemas que garantizan estabilidad se pueden hacer robustos con algunos cambios, como por ejemplo el uso de restricciones terminales conservadoras en el *dual-mode*. Pero en general los resultados existentes sólo indican que incertidumbres pequeñas no amenazan la estabilidad del bucle cerrado, sin permitir el diseño del controlador que garantice la estabilidad dada una incertidumbre descrita por sus límites. Existen algunos resultados para casos muy simples como incertidumbre en la ganancia y se esta avanzando en algunos campos como en LMI, pero todavía queda mucho por hacer.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Con el desarrollo de este proyecto se diseñó un controlador MPC que cumple con los objetivos planteados para obtener un mejoramiento del sistema de bombeo de la estación Lago Agrio. También se observa que el MPC diseñado proporciona mayor controlabilidad que al utilizar implementaciones de control clásicas. Las respuestas muestran un comportamiento adecuado de las variables que interaccionan en el controlador, es decir, un confiable y robusto controlador que satisface las necesidades de la planta.

Con el bloque MPC se comprobó una respuesta medianamente lenta del sistema (por seguridad), pero si más estable, la única diferencia es que el operador debe estar muy atento ante los cambios que puedan sufrir ya no sólo una variable sino los diversos parámetros que intervienen en el desarrollo del controlador. Se verificó también un control más preciso por parte del MPC pues se redujo el margen de error del sistema de 0.1psi a 0.048 BPH (para el controlador por Flujo) y 0.001psi (para el controlador por Presión de Descarga). Estos resultados contribuyen a una mayor velocidad en la operación del bombeo logrando obtener valores exactos del flujo de crudo que se transporta por la tubería.

Actualmente el control se lo hace por presión de descargador lo que no se realiza la acción de control sobre el flujo de crudo sino sobre la presión, por esta razón éste es variable y fluctúa aproximadamente entre 10.000 BPH y 14.000 BPH (figura 7.1), es decir, el valor del flujo total que se transporta hacia el Terminal Balao es un valor promedio (el valor que se toma es el observado por el operador cada hora), con la ayuda del nuevo controlador MPC se obtendrá un valor más preciso constante (ingresado por operador pero controlado por el DeltaV) del crudo que se transporta lo que representa grandes beneficios económicos para el estado.

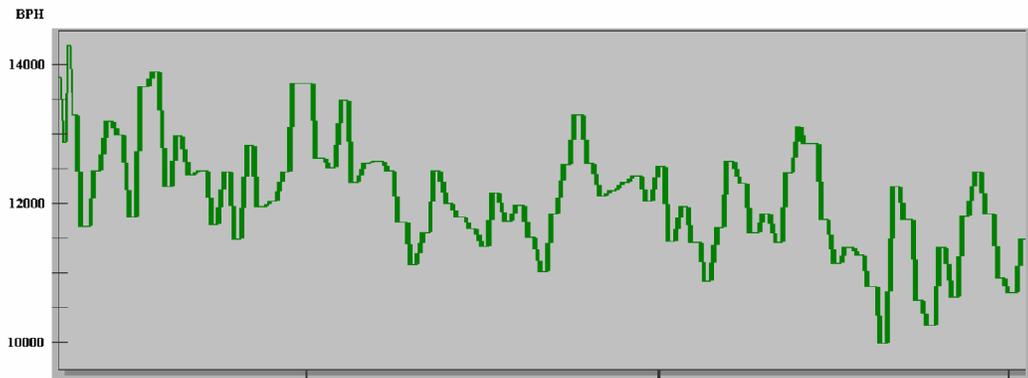


Figura 7.1 Flujo de petróleo transportado con el actual controlador

El beneficio económico para El Ecuador se encuentra en función del flujo de petróleo que se transporta y exporta, es decir, en cuanto más exacta sea la cantidad flujo transportado mayor será beneficio para estado, en el mes de mayo de 2007 el precio del crudo se cotizó en un promedio 63.54 USD y con tendencia al alza hasta alcanzar un costo de 70 USD lo que significa que si se tiene un valor exacto de crudo transportado entonces el monto para el estado será mejor y no se perderá dinero por tener un flujo variable, por lo que la implementación del controlador MPC sería muy necesario en el sistema de bombeo, pues en cuanto más exacta sea la cantidad flujo transportado mayor será la ganancia.

Una de las causas por lo que la estabilidad de los controladores predictivos se pierde radica en la formulación con horizonte finito o fijo, por lo cual se aplico el sistema MPC por modo deslizante, pues el horizonte de predicción sigue desplazándose al ritmo del tiempo de toma de muestras.

El control predictivo basado en modelos es una técnica fácil de diseñar e implementar, se necesita poseer conocimientos básicos de sistemas de control. El MPC, es un bloque de función SISO (una entrada – una salida) o MIMO (múltiples entradas – múltiples salidas), Un solo controlador multivariable predictivo puede reemplazar a toda una serie de implementaciones con controladores clásicos PID (como los de presión succión y presión descarga) conjuntamente, por lo que es muy útil para implementarlo en cualquier planta, ya que en caso de existir alguna falla se detectaría inmediatamente donde se encuentra el problema, por la fácil implementación de la estrategia de control.

No se puede utilizar control predictivo multivariable cuando las variables que interactúan en el mismo no producen cambios en su estado en poco tiempo (durante la frecuencia en que se toman las muestras), debido a que se debe conocer sus estados anteriores para predecir los del futuro. Si son constantes no se podría obtener un futuro esperado para la planta (la respuesta de salida será una línea recta).

Se ha obtenido un control MPC robusto y estable, a pesar de tener presentes restricciones. Puesto que se ha analizado su desempeño, demostrándose que lo mejoran sin un incremento apreciable del coste computacional del controlador. Aunque la garantía de estabilidad de los controladores MPC está basada en la ausencia de incertidumbres, hipótesis que es una idealización, pues todo sistema dinámico discrepa en mayor o menor medida, del modelo que lo describe.

Se debe tener mucho cuidado al momento de obtener los datos de la planta, para luego generar el modelo del proceso, pues de éste depende el comportamiento del controlador, para en las propiedades del MPC se debe desactivar la opción de TRACK SP (Seguir SetPoint) y el modo en el que se realice la toma de datos se encuentre en MANUAL. La naturaleza del modelo puede tener distintas procedencias, aunque la más extendida consiste en obtener un modelo que este de acuerdo con el proceso (mientras más semejante a la planta real mejor será su respuesta).

El operador tiene que estar conciente que en este nuevo controlador ya no sólo se debe fijar en una variable para el control del bombeo sino que debe fijarse en cada una de las variables mencionadas que interactúan en el proceso, pues de todas ellas depende el adecuado funcionamiento del MPC.

Tener en cuenta los puntos fijos de operación de las variables del bombeo, puesto que si se desea aumentar o reducir el flujo de crudo, se tiene que estar seguro que no se sobrepasaran los límites de revoluciones (el controlador no permite salirse de los límites), en ese caso se deberá encender o apagar una unidad para que se mantenga el correcto funcionamiento.

La selección de MV, CV y DV. En el contexto multivariable es necesario un conocimiento casi profundo del proceso para definir la estructura del controlador. No hay herramientas sencillas y concluyentes que analicen las correlaciones entre sí de las MV y CV. Diseñar un MPC que tenga CV correlacionadas tienen peligros potenciales de inestabilidad, pero aún es peor cuando las MV están correlacionadas con las DV, ya que es prácticamente imposible que el controlador alcance un estacionario estable.

Si se desea obtener un control más robusto o menos robusto, con mayor o menor grado de sensibilidad, con una respuesta más rápida o más lenta, pero siempre en el mismo modelo de control, se necesita generar otra vez el controlador partiendo del mismo modelo pero esta vez haciendo un cambio en los parámetros de la generación tales como: penalización en los movimientos, penalización de error y factor de paciencia, con los cuales se puede sintonizar el controlador a las necesidades de la planta.

7.2 Recomendaciones

El Control Predictivo Basado en Modelos, a pesar de ser una tecnología consolidada en la industria, es todavía una tecnología emergente en continuo desarrollo. Para garantizar buenos resultados se requiere un gran esfuerzo de formación por parte del ingeniero de control, un contacto continuo con los operadores y una rutina de mantenimiento adecuada que evite la degradación del rendimiento del controlador. A cambio, los beneficios generados son muy importantes. Esto ha quedado demostrado en sectores como el petroquímico y el energético, pero últimamente se está observando una penetración importante en otros sectores y su implantación industrial sigue progresando.

En la pantalla de monitoreo que será diseñada para la implementación del controlador se debe presentar todas las ayudas visuales (encendido de luces, cuadros titilantes, cambio de colores, etc.), de manera que al operador le resulte muy fácilmente la detección de algún error o sobrepaso en los límites de operación.

En un contexto docente, el GPC puede ser incluido en asignaturas de control digital, por ejemplo como elemento final de la secuencia: controladores algebraicos, mínima

varianza, identificación, etc. Este debe ser un objetivo para complementar la docencia de este tipo de asignaturas, el diseñar una serie de prácticas con una finalidad clara: que el alumno experimente y trate a nivel real, los contenidos teóricos. Un porcentaje elevado de prácticas de las asignaturas de control de esta carrera, están basadas en simulaciones, sin llegar a comparar los resultados de éstas con pruebas en procesos reales.

No se puede utilizar control predictivo multivariable cuando las variables que interactúan en el mismo no producen cambios en su estado en poco tiempo (durante la frecuencia en que se toman las muestras), debido a que se debe conocer sus estados anteriores para predecir los del futuro. Si son constantes no se podría obtener un futuro esperado para la planta (la respuesta de salida será una línea recta).

No se debería aumentar en forma abrupta los cambios de Setpoint puesto que se pueden tener averías en la planta, incluso se podría romper la tubería de transporte del crudo debido al incremento desmedido del flujo, como punto fundamental debería implementarse este tipo de controlador en todas las estaciones de bombeo, de manera que se pueda tener un control estándar de todo el sistema de bombeo SOTE.

Se debería comprar la licencia del software DeltaV Predict y en especial para el funcionamiento del bloque de función MPC en toda su capacidad, es decir, para poder realizar el control no sólo de una variable sino de dos o más variables de manera que se pueda obtener un control mucho más robusto de la planta.

Como el error que se tiene en el flujo total transportado es visual, se debería adquirir dispositivos de medición con un margen de error mínimo, debido a que con la implementación del controlador MPC no se produciría humano sino el diseñado para el controlador que es de 0.048 BPH (aproximadamente 2.016Gl de petróleo), significando ganancia financiera para el país.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **OGATA, K, *Ingeniería de Control Moderna*, 1º edición, Prentice – Hall, 1980**
- [2] **OGATA, K, *Sistemas de Control en Tiempo Discreto*, 2ª edición, Prentice – Hall 1996**
- [3] **DORSEY, John, *Sistemas de Control Continuos y Discretos*, McGraw – Hill, Control Automático, 2005**
- [4] **CANALES RUIZ, Roberto, *Análisis de Sistemas Dinámicos y Control Automático*, Limusa, 1977**
- [5] **CAMACHO, E.F. – BOURDONS, C., *Model Predictive Control in the Process Industry*. Springer, 1995**

INTERNET

- [6] www.ing.uc.edu.ve/aulavirtual/file.php?file=/138/Control3.Clase12.ppt
- [7] http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_control.
- [8] http://es.wikipedia.org/wiki/Electr%C3%B3nica_de_control.
- [9] http://riai.isa.upv.es/riai/CGI-BIN/articulos%20revisados%202004/surveys/num3/MPC_Camacho_y_Bordons1.pdf
- [10] www.aisa.uvigo.es/celso/Documentos/Tema2_2006.pdf
- [11] <http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/web/all/9077E809C37A1865862571>

DC0056CA9E?OpenDocument&node=165720_esa

- [12] http://www.sec.upm.es/docencia/plan_92/scii/descarga_SCII/pdf/T3_transformfZ.pdf
- [13] http://isa.uniovi.es/~idiaz/ADSTel/Tema2a_ADS.pdf
- [14] <http://www.inma.ucl.ac.be/publi/282467.pdf>
- [15] <http://dctrl.fi-b.unam.mx/~pepe/Controladores%20cl%A0sicos.ppt>
- [16] <http://dspace.udc.es/bitstream/2183/476/1/MPC2cF.pdf>
- [17] <http://lisisu02.usal.es/~airene/capit9.pdf>

DELTAV

- [18] <http://www.easydeltav.com/productdata/index.asp>
- [19] http://www.easydeltav.com/pd/PDS_DeltaV_Predict.pdf
- [20] **“Scalable Control System: easy-to-use MPC implementation platform,”**
<http://easydeltav.com/eventcentral/videos/casestudies/>
- [21] http://www.easydeltav.com/pd/PDS_deltaV_operate.pdf

ANEXO 1

LYAPUNOV Y SU TEORÍA

Aleksandr Mikhailovich Lyapunov

Su madre fue Sofía Aleksandrovna Shilipova y su padre fue Mikhail Vasilievich Lyapunov. Mikhail Vasilievich fue un astrónomo quien trabajó en la Universidad de Kazan hasta dos años antes de que Aleksandr Mikhailovich naciera, Aleksandr Mikhailovich empezó su educación en casa, más tarde uno de sus tíos R. M. Sechenov lo preparó para entrar al Gimnasio. Lyapunov no fue el único que empezó dirigido por Sechenov quien enseñaba a su propia hija Natalia Rafailovna Sechenov al mismo tiempo. De hecho Natalia y Aleksandr se casaron muchos años después cuando él tenía 29 años. En 1870 él fue a la escuela de su amigo Markov. Se graduó en 1876 y, como su amigo Markov, entraron a la Facultad de Física y Matemáticas en la Universidad de St. Petersburg.

En ésta Universidad Lyapunov fue instruido por Chebyshev, quien tuvo una fuerte influencia sobre él. Lyapunov se graduó en 1880 y permaneció a St Petersburg para tomar a cargo una investigación. Él publicó dos papers de hidrostática en 1881: *On the equilibrium of heavy bodies in heavy liquids contained in a vessel of a certain shape*, y *On the potential of hydrostatic pressures*. Al siguiente año Chebyshev planteó una pregunta a Lyapunov la cual se convertiría en la principal agenda para uno de sus grandes líneas de investigación por muchos años:-

“It is known that at a certain angular velocity ellipsoidal forms cease to be the forms of equilibrium of a rotating liquid. In this case, do they not shift into some new forms of equilibrium which differ little from ellipsoids for small increases in the angular velocity?”

Aunque la tesis del maestro de Lyapunov no respondió a su pregunta, dicho trabajo fue motivado por la misma razón. Él presentó la tesis *On the stability of ellipsoidal forms of equilibrium of a rotating liquid* en 1884 y la defendió en la Universidad St Petersburg, Después de esto fue incorporado a privatdozent en la Universidad Kharkov donde él

enseñó mecánica y continuó la investigación de su tesis doctoral. Él presentó su tesis doctoral *The general problem of the stability of motion* en la Universidad de Moscow y fue reconocido su doctorado después defendió su tesis el 12 Octubre 1892 (de acuerdo con el calendario moderno).

En 1902 como profesor de la Universidad de Kharkov editó *Communications of the Kharkov Mathematical Society*. Lyapunov estableció que con la variación en la velocidad angular de elipsoides de revolución de Maclaurin pasó a elipsoides de Jacobi. El punto de transición está en una elipse de bifurcación correspondiente en este caso al elipsoide de revolución de Jacobi.

Lyapunov dejó su contribución a la probabilidad en la cual él llegó a interesarse, en particular publicó dos documentos en 1900 y 1901, él probó el teorema del límite central usando una técnica basada en las funciones características. Otra contribución es que fue el editor de dos volúmenes de los trabajos coleccionados de Euler.

Él fue honrado por sus sorprendentes contribuciones elegidas por varias academias tales como: La **Accademia dei Lincei** (1909) y de Francia Academy of Sciences (1916).

La estabilidad de puntos de equilibrio generalmente se caracteriza en el sentido de Lyapunov, un matemático e ingeniero ruso que estableció las bases de la teoría que hoy lleva su nombre. Un punto de equilibrio se dice estable si todas las soluciones que se inician en las cercanías del punto de equilibrio permanecen en las cercanías del punto de equilibrio; de otro modo el punto de equilibrio es inestable. Un punto de equilibrio se dice asintóticamente estable si todas las soluciones que se inician en las cercanías del punto de equilibrio no sólo permanecen en las cercanías del punto de equilibrio, sino que además tienden hacia el equilibrio a medida que el tiempo se aproxima a infinito.

ANEXO 2

LENGUAJE DE PROGRAMACION PLCOPEN

PLCopen

Estandarización en la programación de control industrial

IEC 61131-3: un recurso de programación estandar

En la actualidad aún siguen persistiendo sistemas de control específicos del fabricante, con programación dependiente y conexión compleja entre distintos sistemas de control. Esto significa para el usuario, costos elevados, escasa flexibilidad y falta de normalización en las soluciones al control industrial.

IEC 61131 es el primer paso en la estandarización de los autómatas programables y sus periféricos, incluyendo los lenguajes de programación que se deben utilizar. Esta norma se divide en cinco partes:

- Parte 1: Vista general.
- Parte 2: Hardware.
- Parte 3: Lenguaje de programación.
- Parte 4: Guías de usuario.
- Parte 5: Comunicación.
-

IEC 61131-3 pretende ser la base real para estandarizar los lenguajes de programación en la automatización industrial, haciendo el trabajo independiente de cualquier compañía.

Hay muchas maneras de describir el trabajo desarrollado en la tercera parte de esta norma, indicaremos algunas de ellas son:

- q IEC 61131-3 es el resultado del gran esfuerzo realizado por 7 multinacionales a los que se añaden muchos años de experiencia en el campo de la automatización industrial.
- q Incluye 200 páginas de texto aproximadamente, con más de 60 tablas.
- q IEC 61131-3 son las especificaciones de la sintaxis y semántica de un lenguaje de programación, incluyendo el modelo de software y la estructura del lenguaje.

Otra visión distinta es dividir el estándar en dos partes: (ver figura 1):

- Elementos comunes.
- Lenguajes de programación.



Elementos Comunes

Tipos de datos

Dentro de los elementos comunes, se definen los tipos de datos. Los tipos de datos previenen de errores en una fase inicial, como por ejemplo la división de un dato tipo fecha por un número entero. Los tipos comunes de datos son: variables booleanas, número entero, número real, byte y palabra, pero también fechas, horas del día y cadenas (strings).

Basado en estos tipos de datos, el usuario puede definir sus propios tipos de datos, conocidos como tipos de datos derivados. De este modo, se puede definir por ejemplo un canal de entrada analógica como un tipo de dato.

Variables

Las variables permiten identificar los objetos de datos cuyos contenidos pueden cambiar, por ejemplo, los datos asociados a entradas, salidas o a la memoria del autómata programable. Una variable se puede declarar como uno de los tipos de datos elementales definidos o como uno de los tipos de datos derivados. De este modo se crea un alto nivel de independencia con el hardware, favoreciendo la reusabilidad del software.

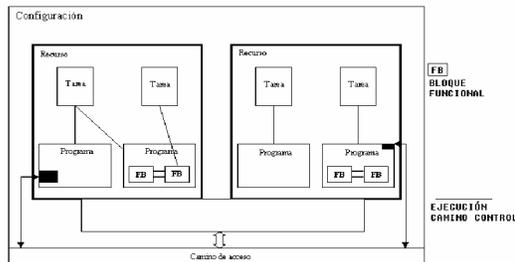
La extensión de las variables está normalmente limitada a la unidad de organización en la cual han sido declaradas como locales. Esto significa que sus nombres pueden ser reutilizados en otras partes sin conflictos, eliminando una frecuente fuente de errores. Si las variables deben tener una

extensión global, han de ser declaradas como globales utilizando la palabra reservada VAR_GLOBAL.

Pueden ser asignados parámetros y valores iniciales que se restablecen al inicio, para obtener la configuración inicial correcta.

Configuración, recursos y tareas

Para entender ésto mejor, vamos a ver el modelo de software, que define IEC 61131-3 (ver figura 2).



Al más alto nivel, el elemento software requerido para solucionar un problema de control particular puede ser formulado como una *configuración*. Una configuración es específica para un tipo de sistema de control, incluyendo las características del hardware: procesadores, direccionamiento de la memoria para los canales de I/O y otras capacidades del sistema.

Dentro de una configuración, se pueden definir uno o más *recursos*. Se puede entender el recurso como un procesador capaz de ejecutar programas IEC.

Con un recurso, pueden estar definidas una o más *tareas*. Las tareas controlan la ejecución de un conjunto de programas y/o bloques de función. Cada una de ellos puede ser ejecutado periódicamente o por una señal de disparo especificada, como el cambio de estado de una variable.

Los *programas* están diseñados a partir de un diferente número de elementos de software, escrito en algunos de los distintos lenguajes definidos en IEC 61131-3. Típicamente, un programa es una interacción de *Funciones* y *Bloques Funcionales*, con capacidad para intercambiar datos. Funciones y bloques funcionales son las partes básicas de construcción de un programa, que contienen una declaración de datos y variables y un conjunto de instrucciones..

Comparado esto con un PLC convencional, éste contiene un solo recurso, ejecutando una tarea

que controla un único programa de manera cíclica. IEC 61131-3 incluye la posibilidad de disponer de estructuras más complejas. El futuro que incluye multi-procesamiento y gestión de programas por eventos ¡Y no está muy lejos!, observar simplemente las características de los sistemas distribuidos o los sistemas de control de tiempo real. IEC 61131-3 está disponible para un amplio rango de aplicaciones, sin tener que conocer otros lenguajes de programación adicionales.

Unidades de Organización de Programa

Dentro de IEC 1131-3, los programas, bloques Funcionales y funciones se denominan Unidades de Organización de Programas, *POU's*.

Funciones

IEC 61131-3 especifica funciones estándar y funciones definidas por usuario. Las funciones estándar son por ejemplo ADD (suma), ABS (valor absoluto), SQRT (raíz cuadrada), SIN (seno), y COS (coseno). Las funciones definidas por usuario, una vez implementadas pueden ser usadas indefinidamente en cualquier POU.

Las funciones no pueden contener ninguna información de estado interno, es decir, que la invocación de una función con los mismos argumentos (parámetros de entrada) debe suministrar siempre el mismo valor (salida).

Bloques Funcionales, FB's

Los bloques funcionales son los equivalentes de los circuitos integrados, IC's, que representan funciones de control especializadas. Los FB's contienen tanto datos como instrucciones, y además pueden guardar los valores de las variables (que es una de las diferencias con las funciones). Tienen un interfaz de entradas y salidas bien definido y un código interno oculto, como un circuito integrado o una caja negra. De este modo, establecen una clara separación entre los diferentes niveles de programadores, o el personal de mantenimiento. Un lazo de control de temperatura, PID, es un excelente ejemplo de bloque funcional. Una vez definido, puede ser usado una y otra vez, en el mismo programa, en diferentes programas o en distintos proyectos. Esto lo hace altamente reutilizable.

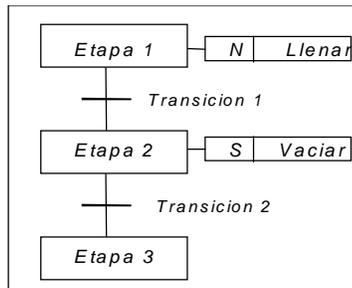
Los bloques funcionales pueden ser escritos por el usuario en alguno de los lenguajes de la norma IEC, pero también existen FB's estándar (biestables, detección de flancos, contadores, temporizadores, etc.). Existe la posibilidad de ser

llamados múltiples veces creando copias del bloque funcional que se denominan *instancias*. Cada instancia llevará asociado un identificador y una estructura de datos que contenga sus variables de salida e internas.

Programas

Los *programas* son “un conjunto lógico de todos los elementos y construcciones del lenguaje de programación que son necesarios para el tratamiento de señal previsto que se requiere para el control de una máquina o proceso mediante el sistema de autómatas programables”. Un programa puede contener, aparte de la declaración de tipos de datos, variables y su código interno, distintas instancias de funciones y bloques funcionales.

Gráfico Funcional Secuencial (SFC)



SFC describe gráficamente el comportamiento secuencial de un programa de control. Esta definición deriva de las Redes de Petri y Grafset (IEC 848), con las modificaciones adecuadas para convertir las representaciones de una norma de documentación en un conjunto de elementos de control de ejecución para una POU de un autómatas programables.

SFC ayuda a estructurar la organización interna de un programa, y a descomponer un problema en partes manejables, manteniendo simultáneamente una visión global. Los elementos del SFC proporcionan un medio para subdividir una POU de un autómatas programables en un conjunto de etapas y transiciones interconectadas por medio de enlaces directos. Cada etapa lleva asociados un conjunto de bloques de acción y a cada transición va asociada una condición de transición que cuando se cumple, causa la desactivación de la etapa anterior a la transición y la activación de la siguiente.

Los bloques de acción permiten realizar el control del proceso. Cada elemento puede ser programado en alguno de los lenguajes IEC, incluyéndose el

propio SFC. Dado que los elementos del SFC requieren almacenar información, las únicas POU's que se pueden estructurar utilizando estos elementos son los bloques funcionales y los programas.

Se pueden usar secuencias alternativas y paralelas, comúnmente utilizadas en muchas aplicaciones. Debido a su estructura general, de sencilla comprensión, SFC permite la transmisión de información entre distintas personas con distintos niveles de preparación y responsabilidad dentro de la empresa.

Lenguajes de Programación

Se definen cuatro lenguajes de programación normalizados. Esto significa que su sintaxis y semántica ha sido definida, no permitiendo particularidades distintivas (dialectos). Una vez aprendidos se podrá usar una amplia variedad de sistemas basados en esta norma.

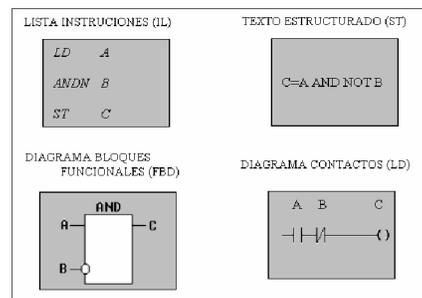
Los lenguajes consisten en dos de tipo literal y dos de tipo gráfico:

Literales:

- § Lista de instrucciones (IL).
- § Texto estructurado (ST).

Gráficos:

- § Diagrama de contactos (LD).
- § Diagrama de bloques funcionales (FBD).



En la figura superior, los cuatro programas describen la misma acción. La elección del lenguaje de programación depende de:

- q los conocimientos del programador,
- q el problema a tratar,
- q el nivel de descripción del proceso,
- q la estructura del sistema de control,
- q la coordinación con otras personas o departamentos.

El Diagrama de contactos (LD) tiene sus orígenes en los Estados Unidos. Está basado en la presentación gráfica de la lógica de relés. Lista de

Instrucciones (IL) es el modelo de lenguaje ensamblador basado un acumulador simple; procede del alemán 'Anweisungsliste, AWL.

El *Diagramas de Bloques Funcionales* (FBD) es muy común en aplicaciones que implican flujo de información o datos entre componentes de control. Las funciones y bloques funcionales aparecen como circuitos integrados y es ampliamente utilizado en Europa. El lenguaje *Texto estructurado* (ST) es un lenguaje de alto nivel con orígenes en el Ada, Pascal y 'C'; puede ser utilizado para codificar expresiones complejas e instrucciones anidadas; este lenguaje dispone de estructuras para bucles (REPEAT-UNTIL; WHILE-DO), ejecución condicional (IF-THEN-ELSE; CASE), funciones (SQRT, SIN, etc.).

Top-down vs. Bottom-up-



La norma también permite dos formas de desarrollar tu programa de control (ver figura 5): de arriba a abajo (Top-down) y de abajo a arriba (bottom-up). Puedes especificar inicialmente la aplicación completa y dividirla en partes, declarar las variables y demás. También puedes comenzar la programación desde abajo, por ejemplo, por medio de funciones y bloque funcionales. Por cualquiera de los caminos que elijas, IEC 61131-3 te ayudará durante todo el proceso.

Implementaciones

Cumplir todos los requerimientos de la norma IEC 61131-3 no es fácil, por eso se permiten implementaciones parciales en varios aspectos. Esto hace referencia al número de lenguajes que soportan las herramientas de desarrollo disponibles, y al número de funciones y de bloques funcionales. Con ello se deja libertad al suministrador, pero el usuario debe tener cuidado durante el proceso de selección de la herramienta adecuada. Incluso una actualización del software puede dar lugar a un nivel muy alto de trabajo durante la implementación.

Muchos entornos de programación IEC actuales ofrecen aquello que se espera a nivel de interface

de usuario: uso de ratón, menús desplegables, pantallas de programación gráfica, múltiples ventanas, ayuda en línea, verificación durante el diseño, etc. Debe hacerse notar que estos detalles no están especificados en la norma por lo que es una de las partes donde los proveedores pueden diferenciarse.

Conclusiones

Las implicaciones técnicas de la norma IEC 61131-3 son altas, dejando bastante espacio para el crecimiento y la diferenciación. Esto la hace adecuada para entrar óptimamente en el próximo siglo.

La norma IEC 61131-3 tendrá un gran impacto en el mundo del control industrial y éste no se restringe al mercado convencional de los PLC's. Ahora mismo, se pueden ver adoptada en aplicaciones para control de movimiento, sistemas distribuidos y sistemas de control basados en PC (SoftPLC), incluyendo los paquetes SCADA. Y las áreas de su utilización siguen creciendo.

El uso de IEC 61131-3 proporciona numerosos beneficios para usuarios/programadores. Los beneficios de la adopción de este estándar son varios, dependiendo de las áreas de aplicación: control de procesos, integrador de sistemas, educación, programación, mantenimiento, instalación, etc. Vamos a nombrar sólo algunos de estos beneficios:

1. Se reduce el gasto en recursos humanos, formación, mantenimiento y consultoría.
2. Evita las fuentes habituales de problemas por el alto nivel de flexibilidad y reusabilidad del software.
3. Las técnicas de programación son utilizables en amplios sectores (control industrial en general).
4. Combinan adecuadamente diferentes elementos que pueden provenir de diferentes fabricantes, programas, proyectos...
5. Incrementa la conectividad y comunicación entre los distintos departamentos y compañías.

El estándar IEC 61131-3 es una realidad en papel. Ahora los usuarios que aprecian los beneficios del estándar deben demandar productos que cubran sus necesidades, de modo que las empresas proveedoras puedan amortizar los gastos de desarrollo de las herramientas adecuadas: 'el problema del huevo y la gallina'.

Para mas información, contactar directamente con PLCopen o a través de la World Wide Web. La dirección postal de PLCopen es:

PO Box 2015
NL 5300 CA Zaltbommel
The Netherlands

Tel.: +31-418-541139
Fax: +31-418-516336

www.plcopen.org

ANEXO 3

LIBRERIAS DELTAV

CONTROL AVANZADO



Fuzzy Logic
Control

FLC fácil de utilizar, puede ser usado como una alternativa de control PID. Muy útiles en procesos no lineales y en presencia de ruidos.



INSPECT

INSPECT hace las estadísticas de desempeño calculadas por el servidor de inspección, disponibles para vista, impresión y agregado a históricos. El bloque reporta estadísticas por parte del sistema de control especificado por el parámetro AREA. AREA puede ser el sistema DeltaV o cualquier planta, celda de procesos.



Lab Entry

LE provee el análisis fuera de línea para las entradas del operador. Por ejemplo, en un modulo re redes neuronales. El usuario define todos los parámetros en el bloque LE usando Control Studio.



MPC

MPC permite interactuar con procesos a ser controlados con restricciones operables que pueden ser medidas mientras interactúa con el proceso y perturbaciones que pueden ser medidas. El bloque MPC es la base del control multivariable en el sistema DeltaV. Se lo puede definir como control anticipativo.



MPC Input
Reference

MPC_INREF es usado para registrar datos relevantes MPC desde un bloque de función de entrada que puede ser un bloque de función AI, PID, FLC



MPC Output
Reference

MPC_OUTREF es usado para registrar datos relevantes MPC desde un bloque de función de entrada que puede ser un bloque de función AO, PID, FLC



MPC Process
Simulator

MPC_SIM simula procesos con control predictivo



NN

NN es la base para implementar redes neuronales en el sistema deltaV.

CONTROL ANALOGICO



Bias/Gain

BG provee la capacidad de ganancia ajustable por manejo de los valores de salida desde un SETPOINT y una entrada. Este bloque esta diseñado para usarlo como un elemento en rutas de control paralelo.



Calc/Logic

CALC permite especificar una expresión que determine la salida del bloque. Funciones matemáticas, operadores lógicos, constantes, y referencias de entrada/salida pueden ser usados en la expresión. No hay modos o estándares de detección de alarma en este bloque.

Control
Selector

CTLSL selecciona una de las tres señales de control para ejecutar el control selector a un bloque de función PID. Las salidas son calculadas basándose en el modo de operación actual que esta determinado por parámetros



Deadtime

DT introduce un retraso de tiempo puro en el valor usado en la ruta de señal entre dos bloques de función.

Fieldbus Input
Selector Ext...

ISELX es un bloque de cálculo matemático y lógico de la entrada. El bloque escoge una salida basada en 8 entradas.



Filter

FLTR aplica una ecuación para filtrar los cambios en la entrada y generar una suave señal de salida.



Input Selector

ISEL es un bloque de cálculo de entrada lógico y matemático. Escoge una salida basado en 4 entradas.

Los métodos de selección en la salida son los siguientes:

MAX escoge el valor más grande, **MIN** escoge el valor más pequeño, **MID** escoge el valor intermedio de las entradas, **FIRST_GOOD** selecciona la primera entrada no mala y no deshabilitada, empezando desde **IN_1**, **AVG** Determina un valor promedio de entre las entradas no deshabilitadas



Lead/Lag

LL provee una compensación dinámica a los valores de entrada. El bloque puede aplicar una función de tiempo de adelanto, una función de tiempo de retraso o una combinación de las dos. Una ganancia específica es aplicada al valor compensado.



Limit

LIM limita el valor de entrada entre dos valores de referencia



Manual Loader

MANLD permite que la salida del bloque sea operada por el usuario. Se conecta otro bloque de función cuya salida se requiere sea operada manualmente.



PID

PID combina toda la lógica necesaria para el desempeño: procesamiento de canal de entradas analógicas, control proporcional integral derivativo con la opcional para el control no lineal y procesamiento del canal de salidas analógicas.



Ramp

RAMP crea una salida rampa para incrementar o decrementar una variable hacia un valor específico. El usuario define el tiempo de duración o la proporción de cambio de la rampa y el punto final.



Rate Limit

RTL limita el porcentaje de cambio del valor de salida a límites específicos.



Ratio

RTO aplica un **SETPOINT** proporcional ajustable para alcanzar una relación entrada salida deseada. El bloque genera una salida usando la proporción, un valor de entrada analógica requerido, y un valor de entrada opcional.



Scaler

SCLR provee una consistencia dimensional y escalable entre valores de diferentes unidades de ingeniería. El bloque convierte el valor de entrada a la escala especificada y genera un valor de salida.

Signal
Characterizer

SGCR caracteriza o aproxima cualquier función que define una relación entrada/salida. La función esta definida por veinte coordenadas. El bloque interpola un valor de salida por un valor de entrada dado usando la curva definida por las coordenadas configuradas. Dos señales de entrada analógica separadas pueden ser procesadas simultáneamente a sus correspondientes señales de salida usando la misma curva definida

Signal
Generator

SGGN produce una señal de salida que simula una señal de proceso. El bloque usa una combinación específica de una onda sinusoidal, una onda cuadrada, un valor bias, y un valor randómico para generar la señal de salida.



Signal Selector

SGSL selecciona el valor máximo, mínimo o promedio de entre 16 valores de entrada y lo coloca en la salida. Típicamente es empleado en aplicaciones de control selector donde las entradas del bloque son las salidas de otro lazo. Por ejemplo, el bloque calcula la temperatura promedio de cuatro entradas; este valor es entonces enviado al bloque PID para controlar un proceso de calentador de agua.



Splitter

SPLTR toma una sola entrada y calcula dos salidas basadas en valores coordinados específicos.

ENTRADAS-SALIDAS

Alarm
Detection

ALM provee la capacidad de especificar los parámetros para alarmas fácilmente que son obtenidos desde E/S o desde el resultado de los cálculos de otras funciones. Este bloque toma las entradas especificadas por el usuario y hace detección de alarmas alta, baja y desviación. Los parámetros generados por este bloque pueden ser usados para generar una alarma para los operadores.



Analog Input

AI accede a un solo valor y estado de medición analógica desde un canal E/S. Se puede configurar el tipo de canal E/S para señal de transmisores 4 - 20 mA o para transmisores HART.



Analog Output

AO asigna un valor de salida a los dispositivos de campo a través de un canal específico. El bloque puede correr en el controlador DeltaV o ejecutarse en los dispositivos de campo.



Discrete Input

DI accede a un solo valor de entrada discreta desde un dispositivo de campo de dos estados y procesa la entrada física disponible a otro bloque de función. Se puede configurar inversión y detección de alarma sobre este valor de entrada.

Discret
Output

DO toma un setpoint binario y escribe en un canal E/S específico para producir una señal de salida.

Fieldbus Multiplexed
Discret Input

FFMDI combina los 8 canales de una tarjeta de entradas discretas y las hace disponibles como una entrada de 8 bits para otro bloque de función.

Fieldbus Multiplexed
Discret Output

FFMDO toma un setpoint de 8 bits y lo escribe en los canales de una tarjeta de salidas discretas sobre un dispositivo H1.

Fieldbus Multiplexed
Analog Input

MAI conecta transmisores de alta densidad a segmentos Fieldbus. El bloque coexiste con los bloques estándar AI. Se usa este bloque cuando los tipos de sensores y la funcionalidad de cada canal son los mismos.



Pulse Input

PIN es usado para proveer valores de entradas analógicas desde canales *Pulse Input* en una tarjeta multifunción.

LOGICAS



Action

ACT evalúa una sola línea de expresión basada en el valor de entrada. Función matemática, operación lógica y constantes pueden ser usados como expresión.



And

AND genera una salida discreta basada en la operación lógica AND de 2 hasta 16 entradas discretas

Bi Directional
Edge Trigger

BDE genera una salida de pulso discreta (1) cuando la entrada discreta hace una transición positiva (FALSO a VERDADERO) o negativa (VERDADERO a FALSO) desde la última ejecución del bloque. Si no ha existido ninguna transición en el bloque, la salida es FALSO (0)

Boolean Fan
Out

BFO decodifica una entrada binaria a bits individuales y genera un valor de salida discreta para cada bit.



Condition

CND evalúa una expresión de varias líneas y genera un valor de salida discreta cuando la expresión es evaluada verdadera (1) por un periodo de tiempo más grande que el especificado



Device Control

DC provee control de setpoint para dispositivos discretos multi-estado tal como motores, bombas, y válvulas. El bloque compara el estado requerido (setpoint) al estado actual reportado desde el dispositivo, permitiendo a su vez que el dispositivo cambie de estado, detecte límites de alarma sobre cualquier error.

El setpoint requerido por el dispositivo soporta tres estados: pasivo, activo 1 y activo 2 (opcional)



Multiplexer

MLTX selecciona un valor de entrada a partir de los 16 posibles y lo ubica a la salida.

Negative Edge
Trigger

NDE genera una salida de pulso discreta (1) cuando la entrada discreta hace una transición negativa (VERDADERO a FALSO) desde la última ejecución del bloque. Si no ha existido ninguna transición en el bloque, la salida es FALSO (0)



Not

NOT invierte lógicamente una señal de entrada discreta y genera una salida discreta.



Or

OR genera una salida discreta basada en la operación lógica OR de 2 hasta 16 entradas discretas

Positive Edge
Trigger

PDE genera un salida de pulso discreta (1) cuando la entrada discreta hace una transición positiva (FALSO a VERDADERO) desde la ultima ejecución del bloque. Si no ha existido ninguna transición en el bloque, la salida es FALSO (0)



RS Flip-Flop

RS (Reset/Set) genera un valor de salida discreta basado en el NOR lógico de las entradas set y reset

- Cuando la entrada reset es FALSO (0) y set es VERDADERO (1), la salida es VERDADERO. La salida se mantiene VERDADERO hasta que la entrada reset sea VERDADERO y set FALSO.

- Cuando reset es VERDADERO, la salida es igual al valor de set de la entrada.

- Cuando ambos son VERDADERO, la salida es VERDADERO.

- Cuando ambos son FALSO, la salida se mantiene en su último estado y puede ser VERDADERO o FALSO.



SR Flip-Flop

SR (Set/Reset) genera un valor de salida discreta basado en el NAND lógico de las entradas set y reset.

Cuando el reset es FALSO (0) y set es VERDADERO (1), la salida es VERDADERO. La salida se mantiene VERDADERO hasta que reset sea VERDADERO y set FALSO.



Transfer

Transfer. XFR selecciona una de dos entradas analógicas y la transfiere a la salida después de un tiempo especificado. La transferencia desde una entrada a otra es suave con una rampa lineal.

MATEMATICAS



Absolute Value

ABS provee el valor absoluto de un valor de entrada entero o flotante



Add

ADD suma los valores de 2 a 16 entradas y genera un valor de salida.



Arithmetic

ARTHM provee la capacidad para configurar una función extensión para una entrada principal y aplica nueve diferentes tipos como compensación o aumento del rango de entrada. Todas las operaciones son seleccionadas por parámetros y conexión en la entrada.

Las nueve funciones aritméticas son: compensación lineal, raíz cuadrada, compensación aproximada, Btu, multiplicación y división tradicional, promedio, sumadora, polinomial de cuarto orden y nivel compensado HTG simple.



Comparator

CMP permite comparar dos valores y saca una salida booleana basada en la comparación LT (menor que), GT (mayor que), EQ (igual a), NEQ (no igual).



Divide

DIV divide un valor de entrada para otro valor de entrada y genera una salida.



Integrator

INT integra una variable o la suma o diferencia entre dos variables sobre el tiempo. El bloque compara el valor integrado o acumulado a límites preestablecidos (pre-trip y trip del bloque de función) y genera una señal de salida discreta cuando los límites son alcanzados. Puede ser usado también como totalizador.



Multiply

MLTY multiplica un valor de entrada para otro valor de entrada y genera una salida. Se lo emplea también para aplicar un valor de ganancia a la señal.



Substract

SUB realiza la sustracción de la entrada 2 a la entrada 1. ($OUT1 = IN1 - IN2$)

ESPECIALES

Custom Block

Permite crear bloques personalizados a partir de estrategias de control (módulos) definidas.

Input
Parameter

Variable publica de lectura.

Internal Read
Parameter

Variable privada de lectura.

Internal Write
Parameter

Variable privada de escritura.

Output
Parameter

Variable publica de escritura.



Physical Block

Permite crear bloques personalizados a partir de un conjuntos de DST's definidas.

CONTADORES TEMPORIZADORES



Counter

CTR genera un valor de salida discreta de verdad (1) cuando el conteo alcanza el valor establecido. El bloque puede ser de conteo incremental o decremental.

Off-Delay
Timer

OFFD retrasa la transferencia de un valor de entrada discreta FALSO (0) a la salida por un periodo de tiempo especificado.

On-Delay
Timer

OND retrasa la transferencia de un valor de entrada discreta VERDADERO (1) a la salida por un periodo de tiempo especificado.

Retentive
Timer

RET genera una salida discreta VERDADERO (1) después de que la entrada ha sido VERDADERO por un periodo de tiempo especificado. El tiempo transcurrido la entrada ha sido VERDADERO y el valor de la salida, son reiniciados por una entrada discreta.



Timed Pulse

TP genera una salida discreta VERDADERO (1) por un periodo de tiempo especificado. Luego del tiempo transcurrido la señal de salida retorna a FALSO (0). La salida se mantiene en VERDADERO a pesar de que la señal de entrada haya retornado al valor original FALSO. Cualquier transición positiva puede causar un reinicio del temporizador.

ANEXO 4

MODELOS ARX y FIR

1.- Un procedimiento para determinar los coeficientes de Respuesta a un Impulso.

Consideremos un sistema LTI, con $\xi(k)$ como ruido blanco, u y ξ no correlacionados, por ej. $r_{u\xi}(k) = 0$.

$$y(k) = \sum_{g=0}^N g(l)u(k-l) + \xi(k)$$

Multiplicando los dos lados por $u(k-\tau)$, sumados todos los valores de k sobre $[0, N]$.

$$\sum_{k=0}^N y(k)u(k-\tau) = \sum_{k=0}^N \sum_{l=0}^N g(l)u(k-l)u(k-\tau)$$

Como u y ξ no están correlacionados, el segundo término de la mano derecha es cero.

Entonces tendremos:

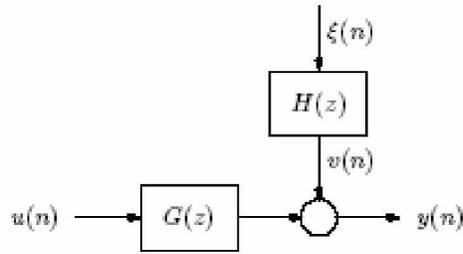
$$r_{yu}(\tau) = \sum_{l=0}^N g(l)r_{uu}(\tau-l)$$

Evaluando esta ecuación para diferente τ , y haciendo uso de $r_{uu}(n) = r_{uu}(-n)$,

$$\begin{bmatrix} r_{uu}(0) &] & r_{uu}(N) \\ r_{uu}(-1) &] & r_{uu}(N-1) \\ \wedge & & \wedge \\ r_{uu}(-N) &] & r_{uu}(0) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} g(0) \\ g(1) \\ \wedge \\ g(N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{uu}(0) \\ r_{uu}(1) \\ \wedge \\ r_{uu}(N) \end{bmatrix}$$

Para resolver g . La invertibilidad de esta matriz es la persistencia de una condición de excitación de u .

2.- Modelo de Error de Predicción ante un Escalón



$$y(n) = G(z)u(n) + v(n)$$

La mejor estimación:

$$\hat{y}(n | n-1) = G(z)u(n) + \hat{v}(n | n-1)$$

Modelo del Ruido, usando ruido blanco

$$v(n) = h(n) * \xi(n)$$

Podemos tomar el término principal de h para ser 1:

$$v(n) = \xi(n) + \sum_{l=1}^{\infty} h(l)\xi(n-l)$$

La mejor predicción de $v(n)$ es su propia expectativa:

$$\begin{aligned} \hat{v}(n | n-1) &= \zeta [v(n)] \\ &= \zeta [\xi(n)] + \zeta \left[\sum_{l=1}^{\infty} h(l)\xi(n-l) \right] \end{aligned}$$

Ruido Blanco, términos pasados

$$\hat{v}(n | n-1) = h(n) * \xi(n) - \xi(n)$$

En notación mezclada tenemos:

$$\begin{aligned} \hat{v}(n | n-1) &= H(z)\xi(n) - \xi(n) = (H(z) - 1)\xi(n) \\ &= (H(z) - 1)H^{-1}(z)v(n) = (1 - H^{-1}(z))v(n) \end{aligned}$$

Se puede mostrar que H , H^{-1} es estable. Substituyendo en \hat{y}

$$\begin{aligned}
 \hat{y}(n | n-1) &= G(z)u(n) + (1 - H^{-1}(z))v(n) \\
 &= G(z)u(n) + [1 - H^{-1}(z)][y(n) - G(z)u(n)] \\
 &= H^{-1}(z)G(z)u(n) + [1 - H^{-1}(z)]y(n)
 \end{aligned}$$

Modelo:

$$y(k) = G(z)u(k) + H(z)\xi(k)$$

Modelo de Predicción:

$$y(k | k-1) = H^{-1}(z)G(z)u(k) + [1 - H^{-1}(z)]y(k)$$

Modelo FIR:

$$y(k) = B(z)u(k) + \xi(k)$$

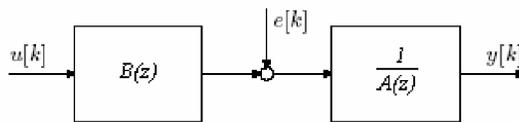
Obteniendo,

$$G(z) = B(z), \quad H(z) = 1$$

Substituyendo, el Modelo de Predicción por FIR:

$$\hat{y}(k | k-1) = B(z)u(k)$$

Luego se considera un Modelo ARX:



$$A(z)y(k) = B(z)u(k) + \xi(k)$$

Obteniendo,

$$G(z) = \frac{B(z)}{A(z)}, \quad H(z) = \frac{1}{A(z)}$$

Substituyendo, el Modelo de Predicción por ARX:

$$\begin{aligned}\hat{y}(k | k - 1) &= A(z) \frac{B(z)}{A(z)} u(k) + (1 - A(z))y(k) \\ &= B(z)u(k) + (1 - A(z))y(k)\end{aligned}$$

3.- Modelos de Interés

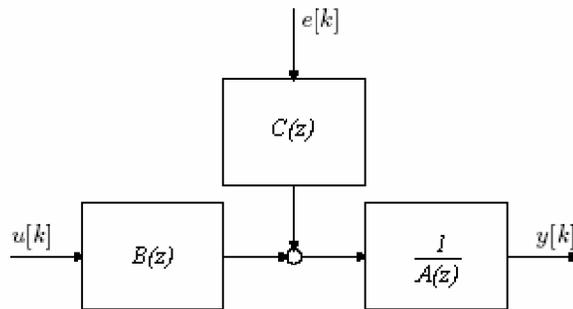
- Modelo de Respuesta al Impulso Finito (FIR), el cual es de la forma,

$$y(k) = B(z)u(k) + \xi(k)$$

- Modelo Auto Regresivo con entrada exógena (ARX), el cual es de la forma:

$$A(z)y(k) = B(z)u(k) + \xi(k)$$

- Modelo Auto Regresivo de Media Móvil con entrada exógena (ARMAX), el cual es de la forma,

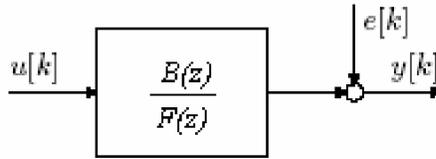


$$A(z)y(k) = B(z)u(k) + C(z)\xi(k)$$

- Modelo Auto Regresivo Integrado de Media Móvil con entrada exógena (ARIMAX), que tiene la forma:

$$A(z)y(k) = B(z)u(k) + \frac{C(z)}{\Delta(z)}\xi(k)$$

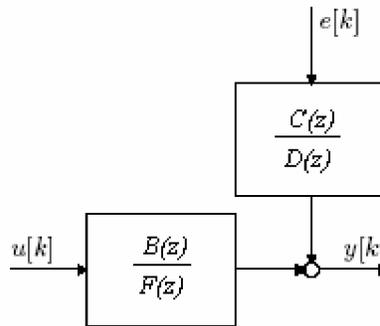
- Modelo Error de SALIDA (OE), la forma general esta dada por:



$$y(k) = G(z)u(k) + \xi(k)$$

Donde: $G(z)$ es una función de transferencia. FIR es un modelo de OE.

- Modelo Box Jenkins (BJ), el cual es de la forma:



$$y(k) = G(z)u(k) + H(z)\xi(k)$$

Donde: $G(z)$ y $H(z)$ son funciones de transferencia.

4.- Modelo FIR como una ecuación de regresión

$$y(k) = \sum_{l=0}^N g(l)u(k-l) + \xi(k)$$

Escribiendo las ecuaciones para $y(k)$, $y(k-1)$, ... y apilándoles en una matriz, tenemos:

$$\begin{bmatrix} y(k) \\ y(k-1) \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u(k) & \dots & u(k-N) \\ u(k-1) & \dots & u(k-N-1) \\ \vdots & & \vdots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} g(0) \\ g(1) \\ \vdots \\ g(N) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \xi(k) \\ \xi(k-1) \\ \vdots \end{bmatrix}$$

Es decir, es de la forma $Z(k) = \phi(k)\theta + \Xi(k)$, con

$$Z(k) = \begin{bmatrix} y(k) \\ y(k-1) \\ \wedge \end{bmatrix}, \phi(k) = \begin{bmatrix} u(k) &] & u(k-N) \\ u(k-1) &] & u(k-N-1) \\ \wedge & & \end{bmatrix}, \theta = \begin{bmatrix} g(0) \\ g(1) \\ \wedge \\ g(N) \end{bmatrix}, \Xi(k) = \begin{bmatrix} \xi(k) \\ \xi(k-1) \\ \wedge \end{bmatrix}$$

Note que θ consiste en los coeficientes de respuesta al impulso $g(0), \dots, g(N)$

5.- Modelo ARX, como ecuación de regresión

$$y(k) = a_1 y(k-1) + \sum_{l=0}^N g(l) u(k-l) + \xi(k)$$

$$\begin{bmatrix} y(k) \\ y(k-1) \\ \wedge \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(k-1) & u(k) &] & u(k-N) \\ y(k-2) & u(k-1) &] & u(k-N-1) \\ \wedge & \wedge & & \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ g(0) \\ g(1) \\ \wedge \\ g(N) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \xi(k) \\ \xi(k-1) \\ \wedge \end{bmatrix}$$

Es decir, es de la forma $Z(k) = \phi(k)\theta + \Xi(k)$, con

$$Z(k) = \begin{bmatrix} y(k) \\ y(k-1) \\ \wedge \end{bmatrix}, \phi(k) = \begin{bmatrix} u(k) &] & u(k-N) \\ u(k-1) &] & u(k-N-1) \\ \wedge & & \end{bmatrix}, \theta = \begin{bmatrix} a_1 \\ g(0) \\ g(1) \\ \wedge \\ g(N) \end{bmatrix}$$

Note que θ consiste a_1 y los coeficientes de respuesta al impulso $g(0), \dots, g(N)$

Estimación de Mínimos cuadrados es un método conveniente para determinar los parámetros del modelo de los datos experimentales.

Dejar que el modelo que relaciona los parámetros y los datos experimentales sean dados por:

$$Z(k) = \phi(k)\theta + \Xi(k)$$

Donde: $Z(k)$ y $\phi(k)$ consiste de medidas pasadas y θ es el vector de parámetros que van hacer estimados.

$\Xi(k)$, puede ser tomado como un error entre el mejor que el modelo subyacente, caracterizado por θ , y puede predecir las actuales medidas de $Z(k)$. $\Xi(k)$, puede también ser una medida randómica de ruido.

El argumento k es requerido en problemas de identificación que reciben datos de una base continua. Si el problema es sólo determinar un set de parámetros θ , de uno y sólo un set de datos experimentales, no hay necesidad de incluir este argumento

ANEXO 5

ESTRATEGIAS DE CONTROL

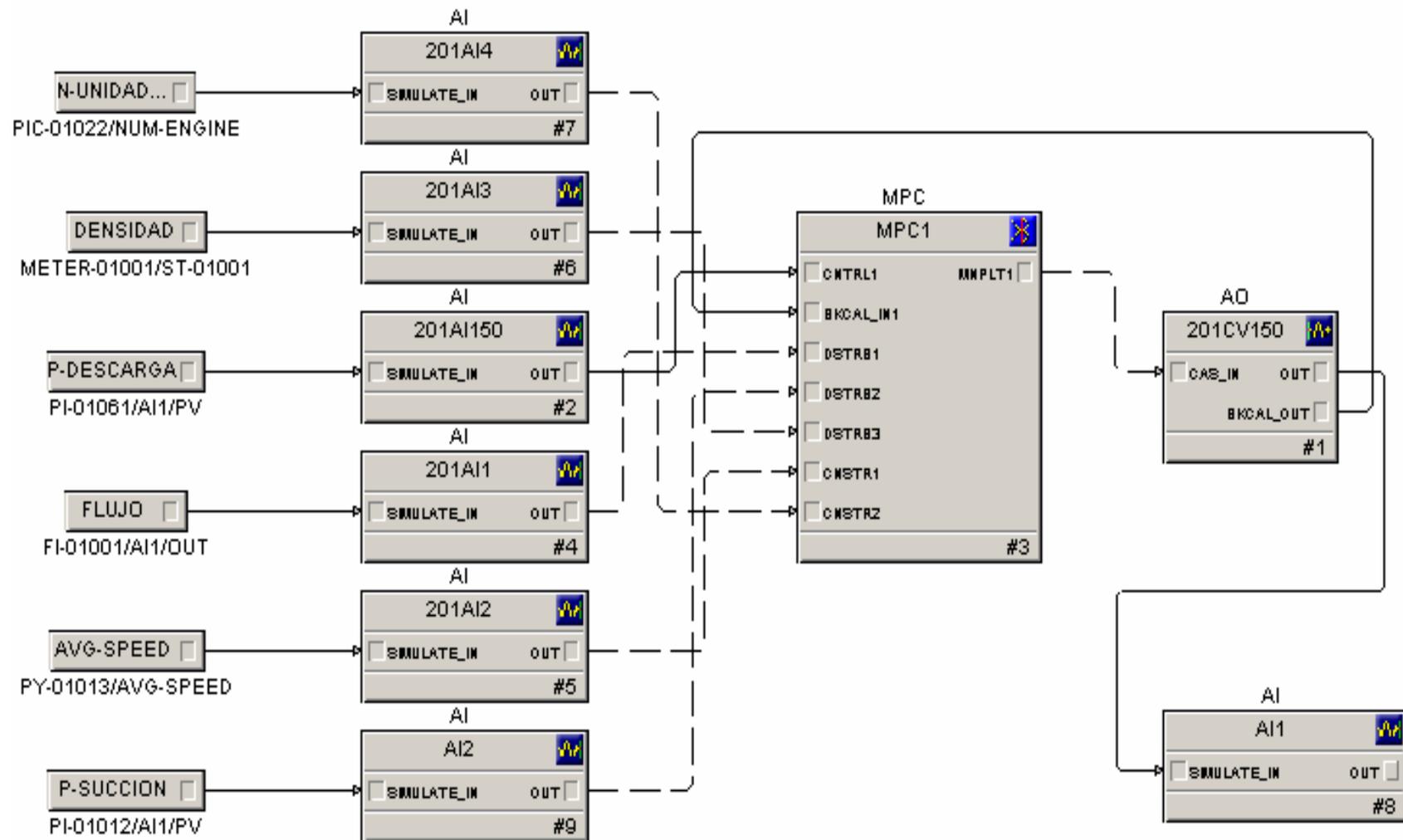


Figura 4.2 Estrategia de Control por Presión de Descarga CP_TALLER/R1/MPC1

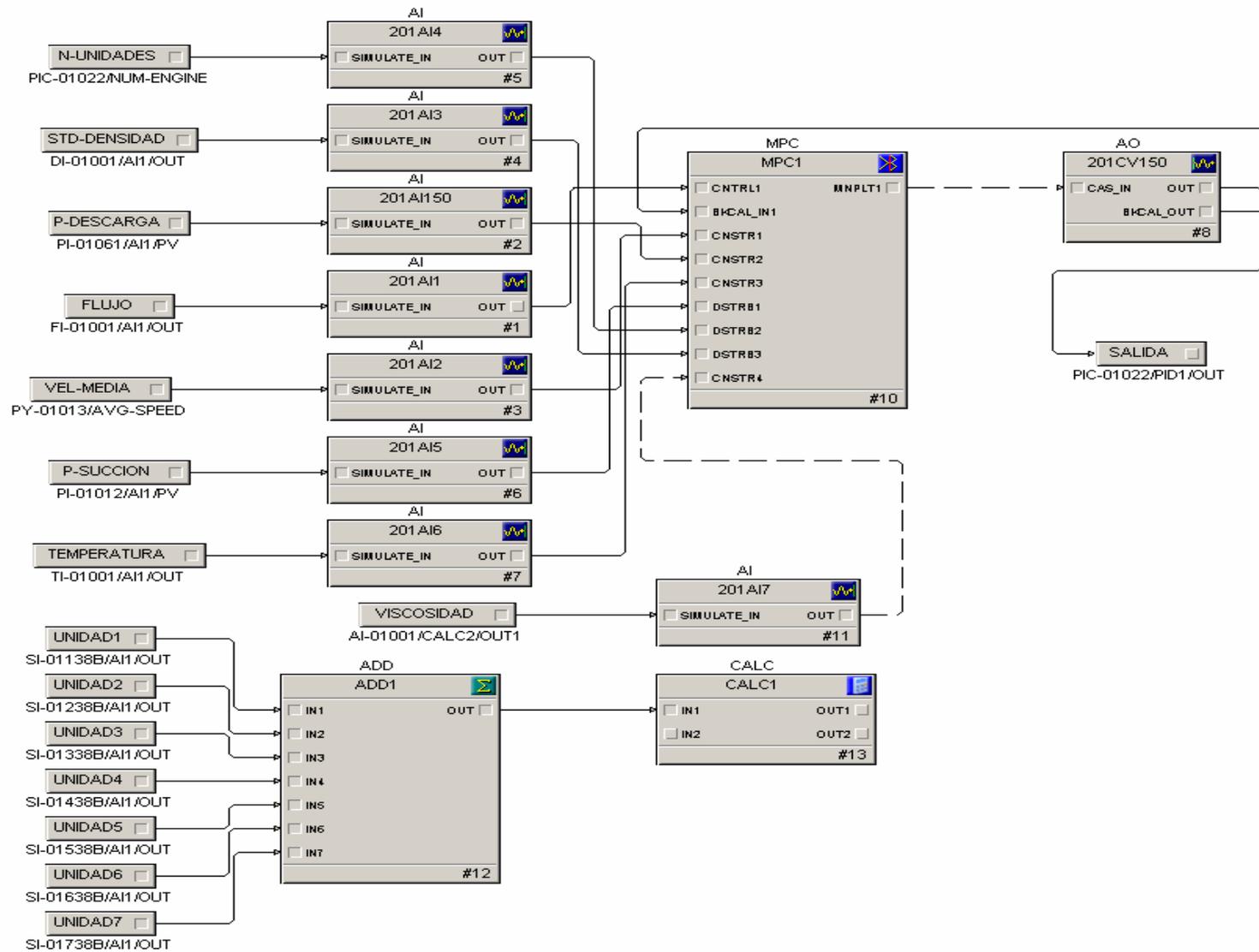


Figura 4.3 Estrategia de Control por Flujo CP-TALLER/FLUJO/MPC1

ANEXO 8

CONTROL DE VELOCIDAD Y PANTALLA DE VISUALIZACION

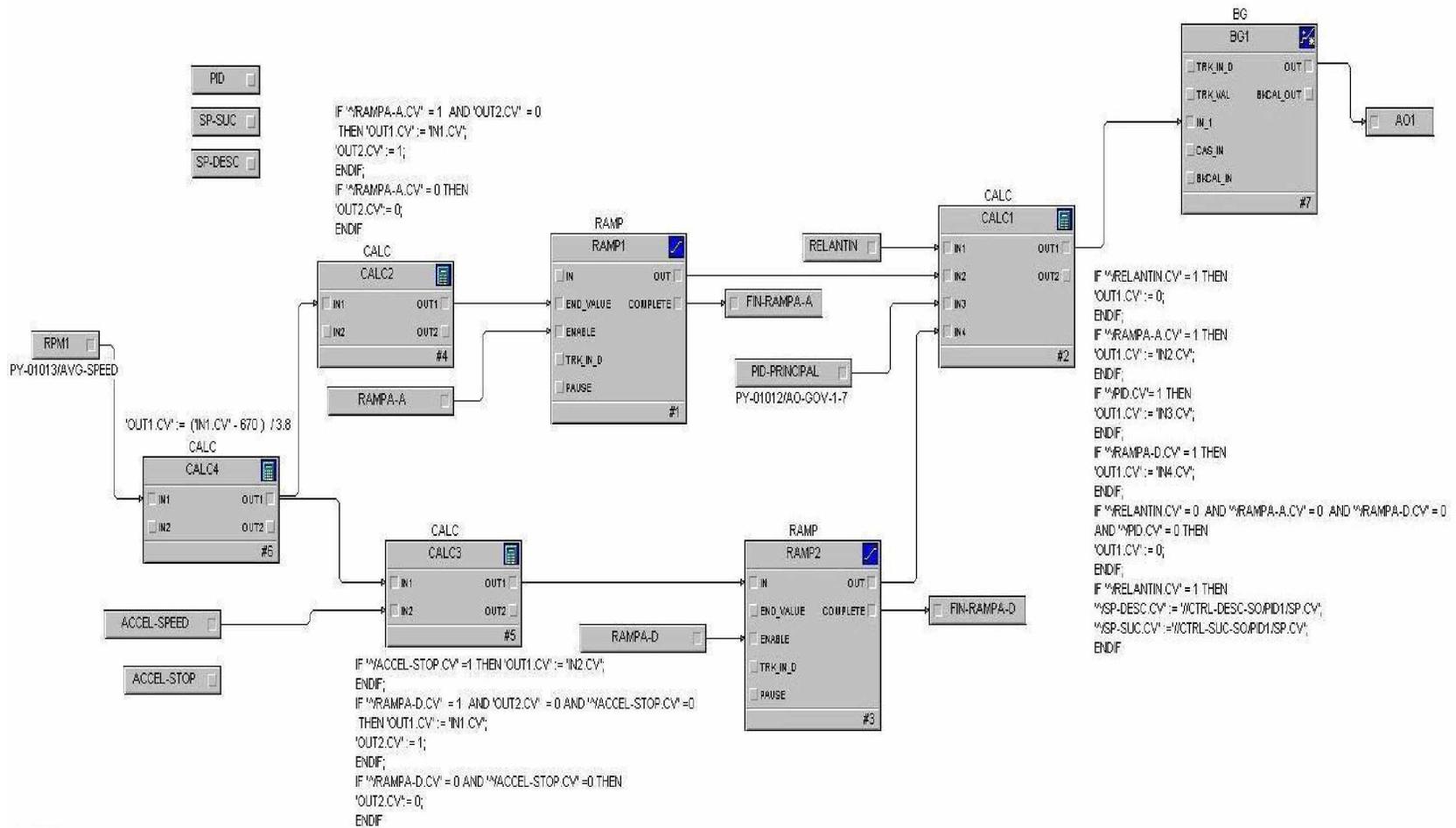


Figura 5.3. Módulo de control de velocidad, 11_SPEED_CONTROL

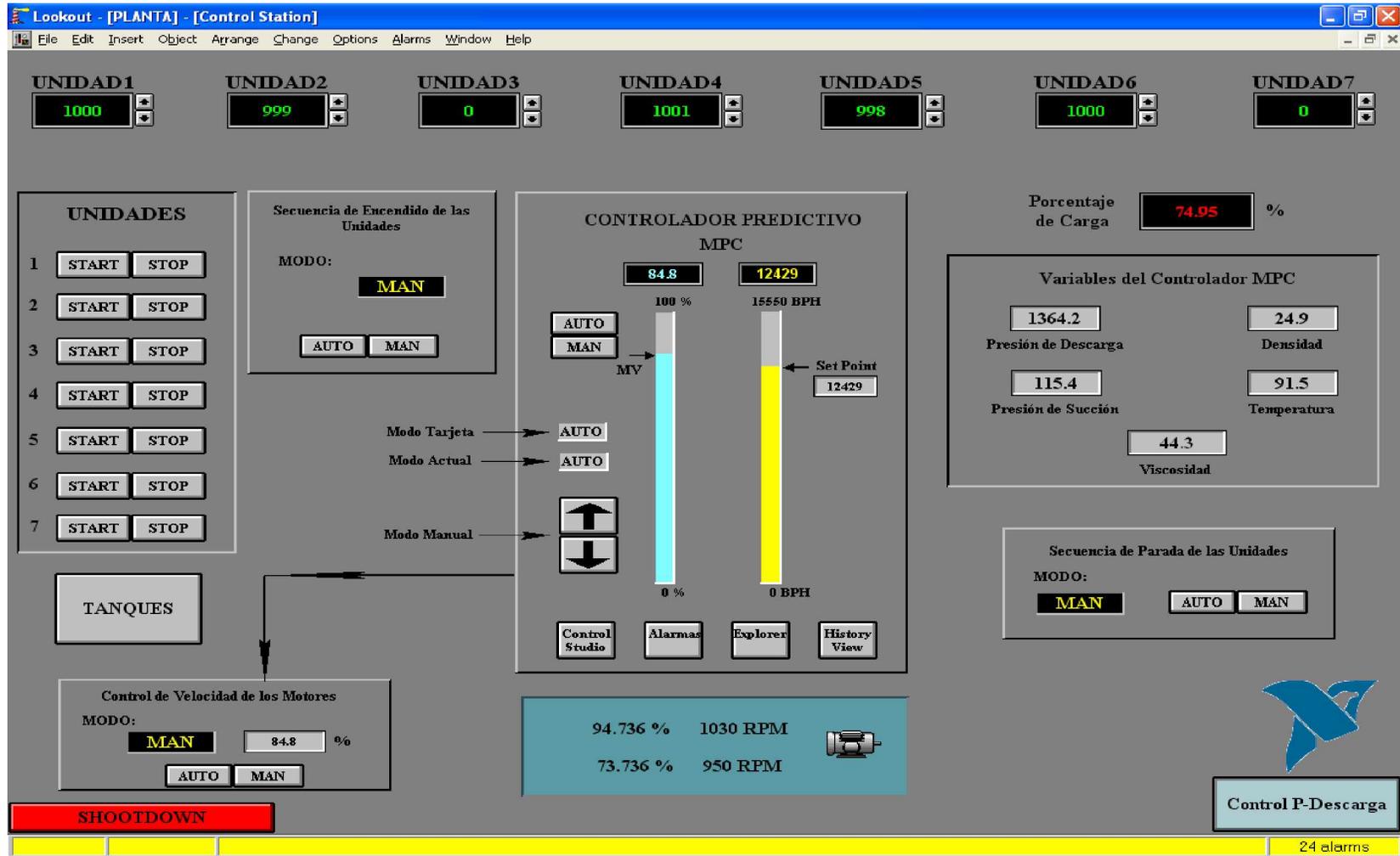


Figura 5.11 Pantalla de Visualización para el nuevo controlador.

ANEXO 9

ESTACIONES DE BOMBEO Y REDUCTORAS DE PRESION

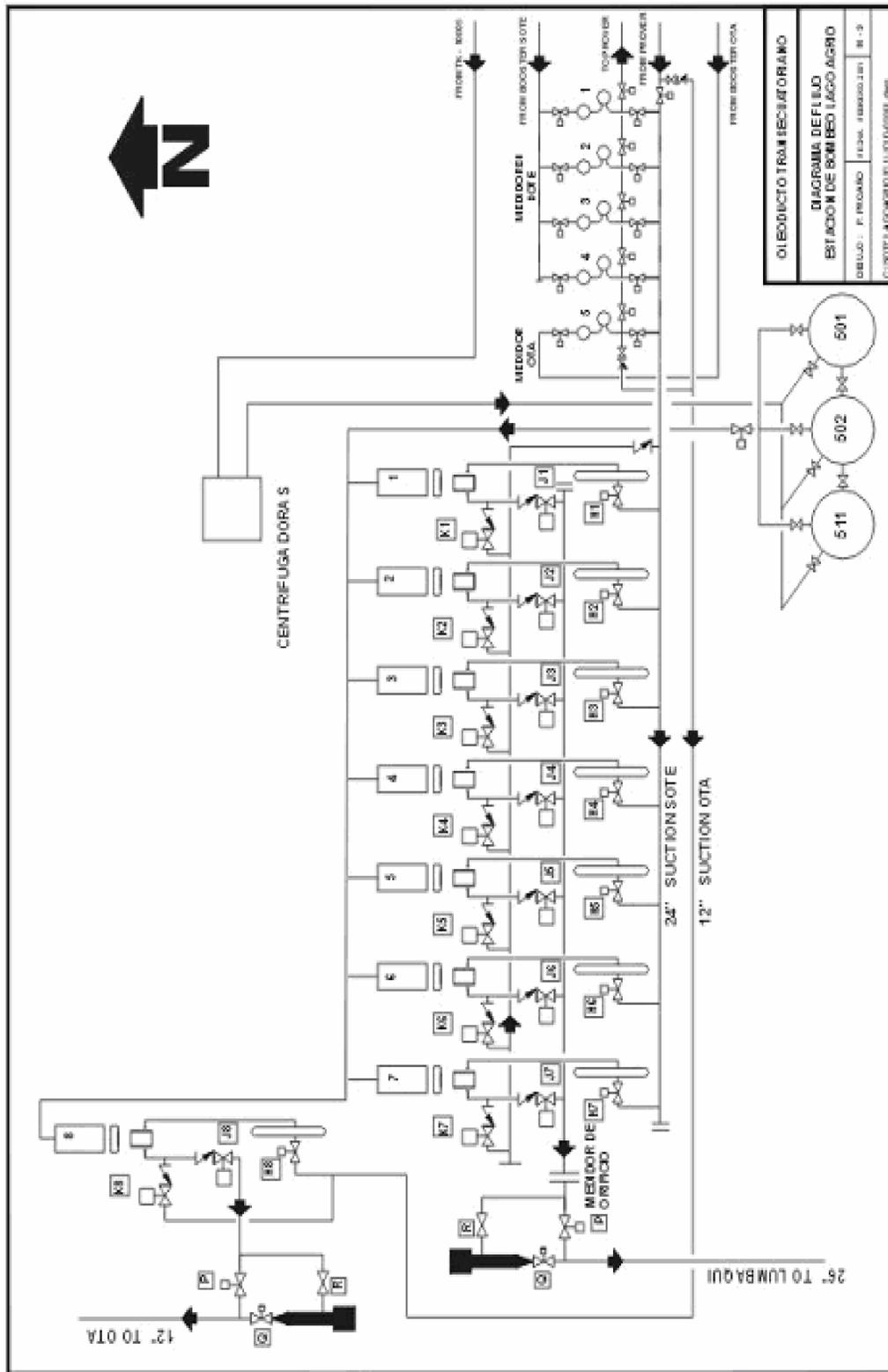


Figura 5.15. Estación Lago Agrio

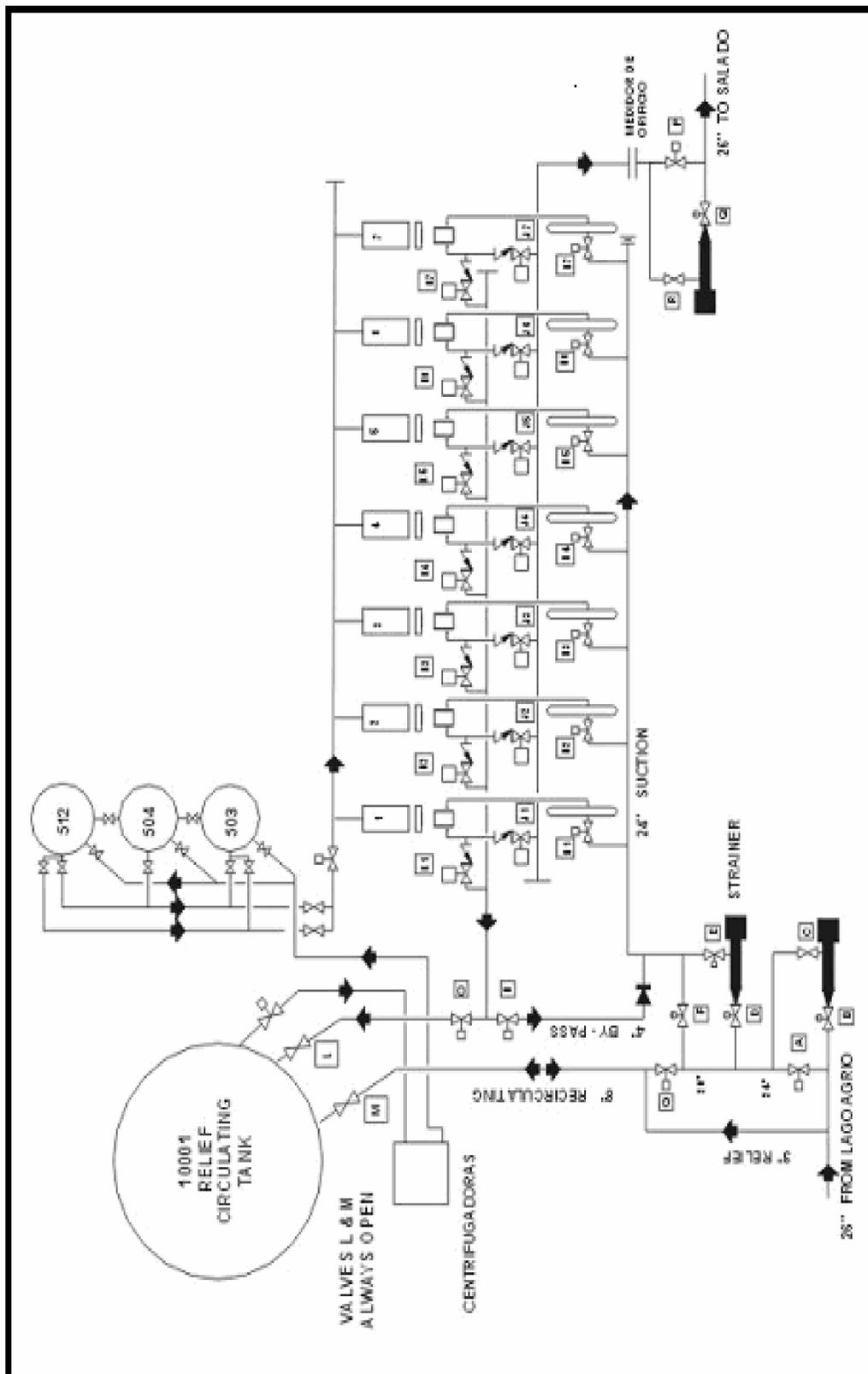


Figura 5.16. Estación Lumbaqui

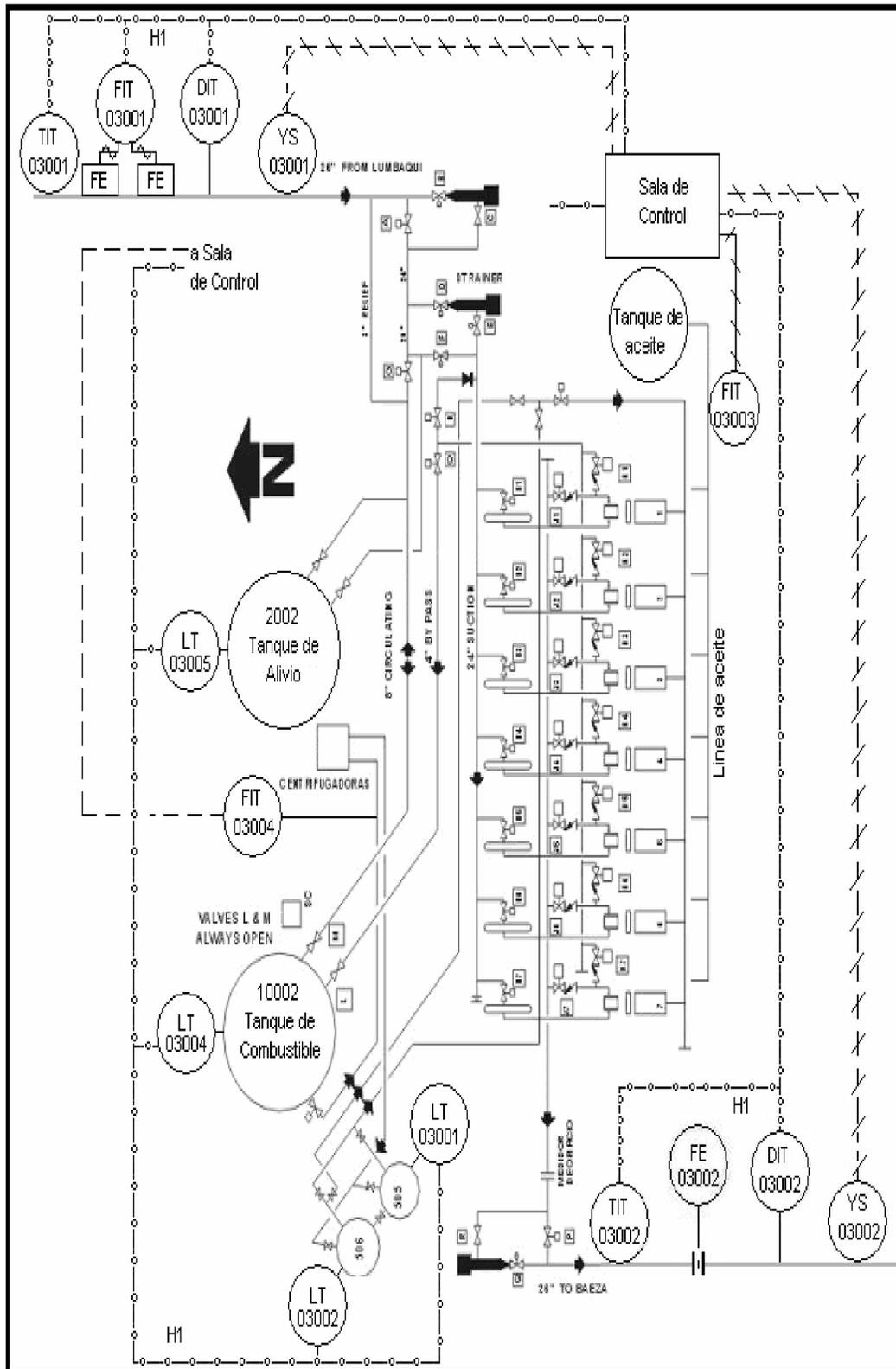


Figura 5.17. Estación el Salado

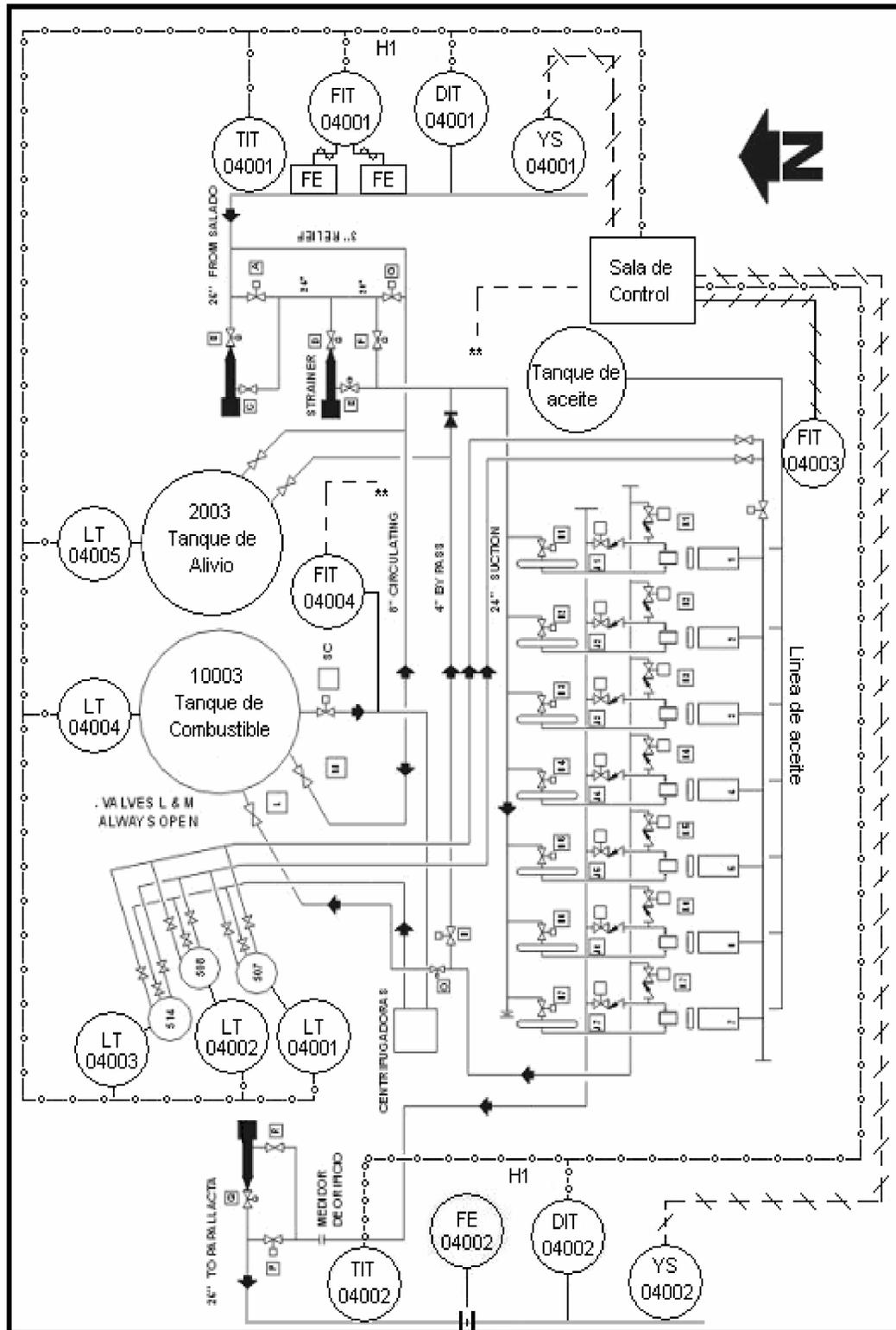


Figura 5.18. Estación Baeza

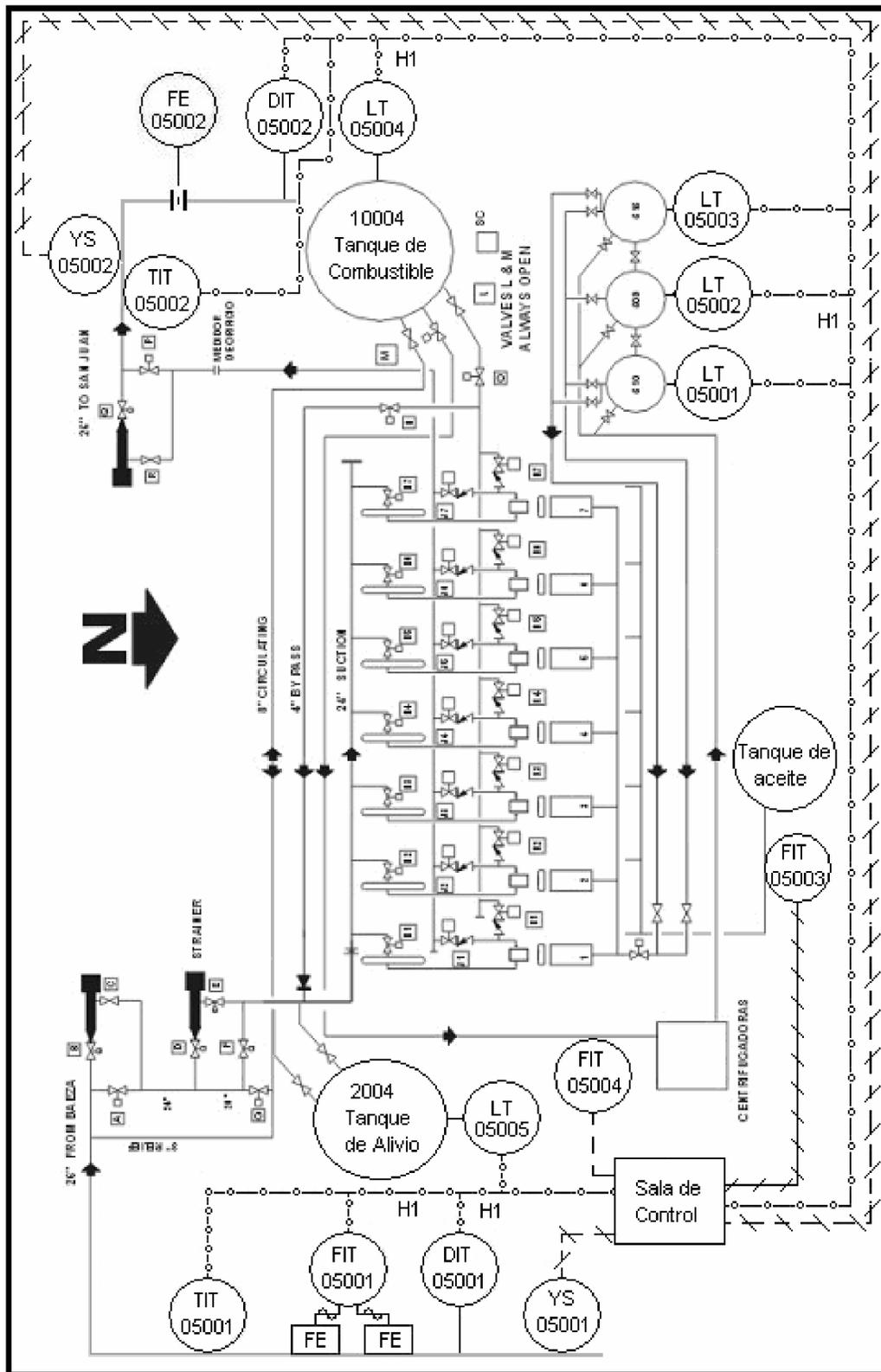


Figura 5.19. Estación Papallacta

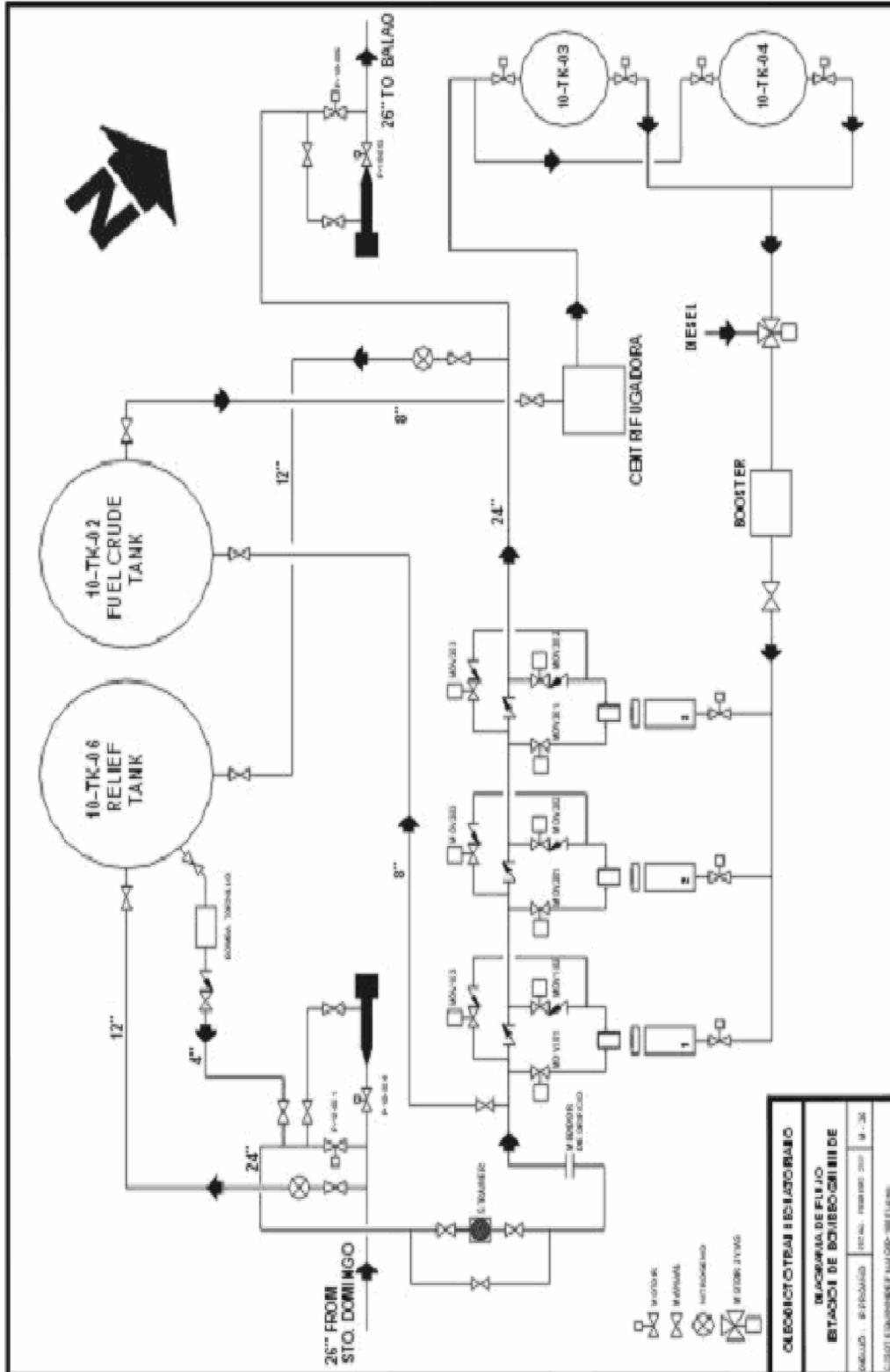


Figura 5.20. Estación Quiminde

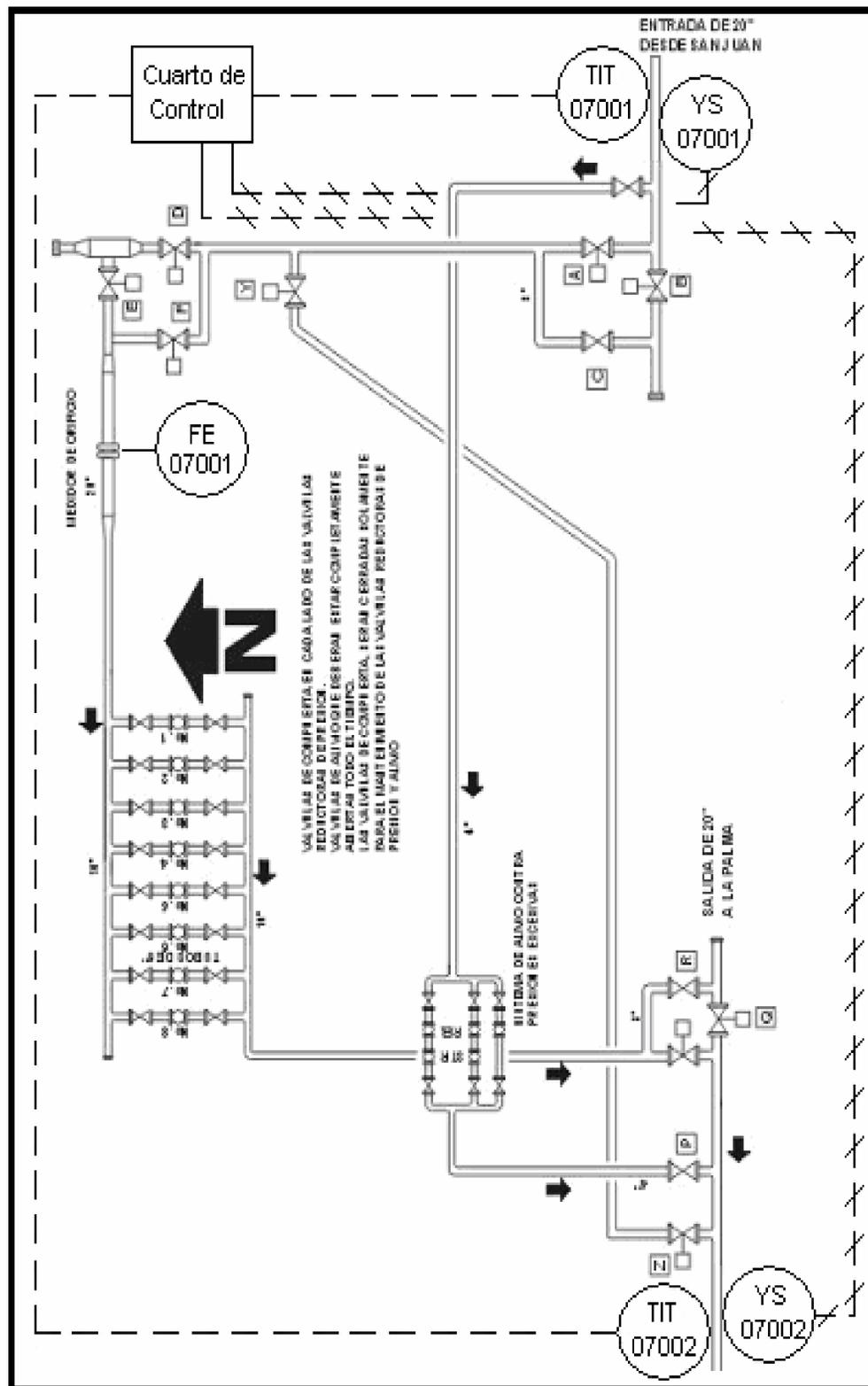


Figura 5.22. Estación Reductora Chiriboga

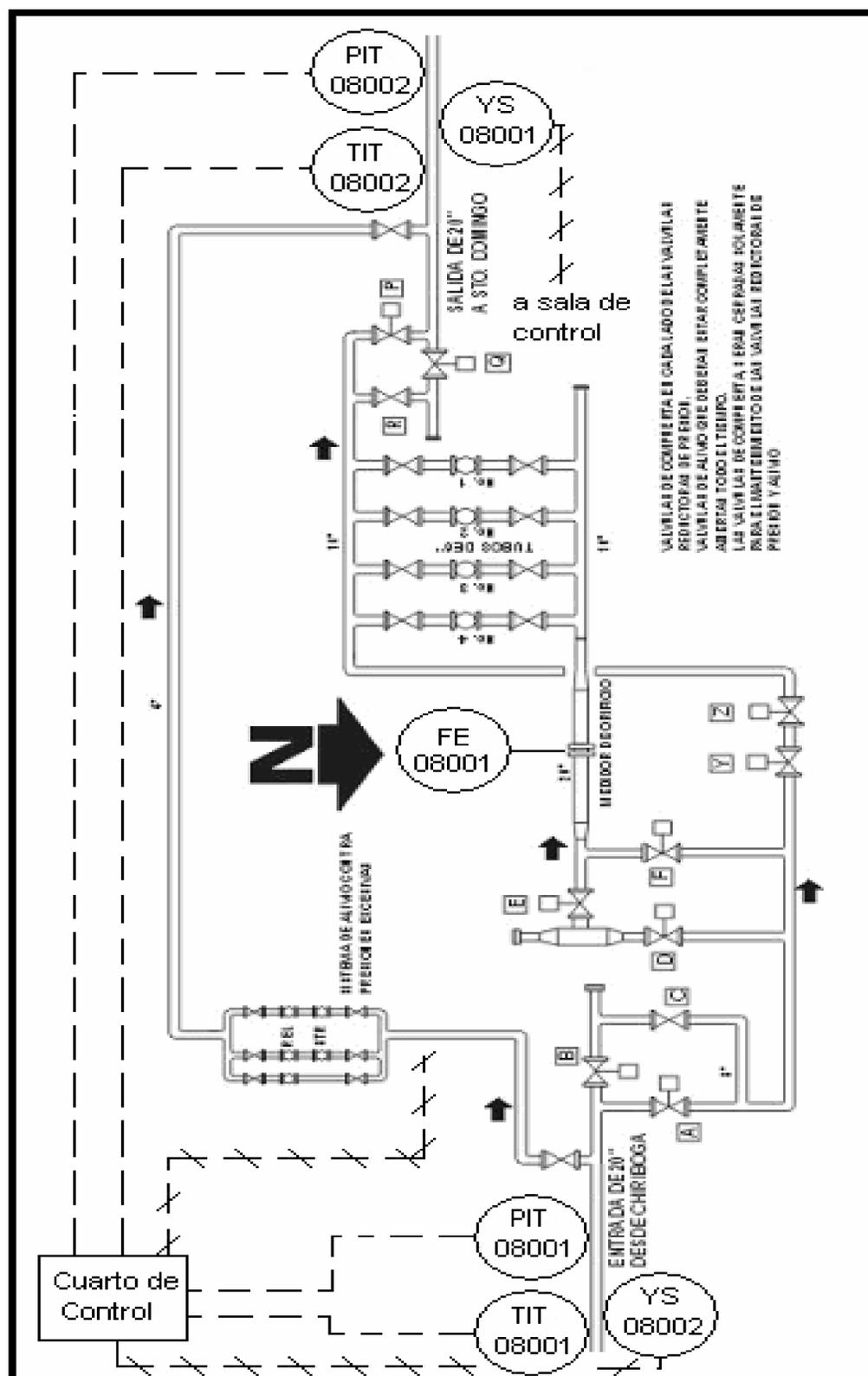


Figura 5.23. Estación Reductora La Palma

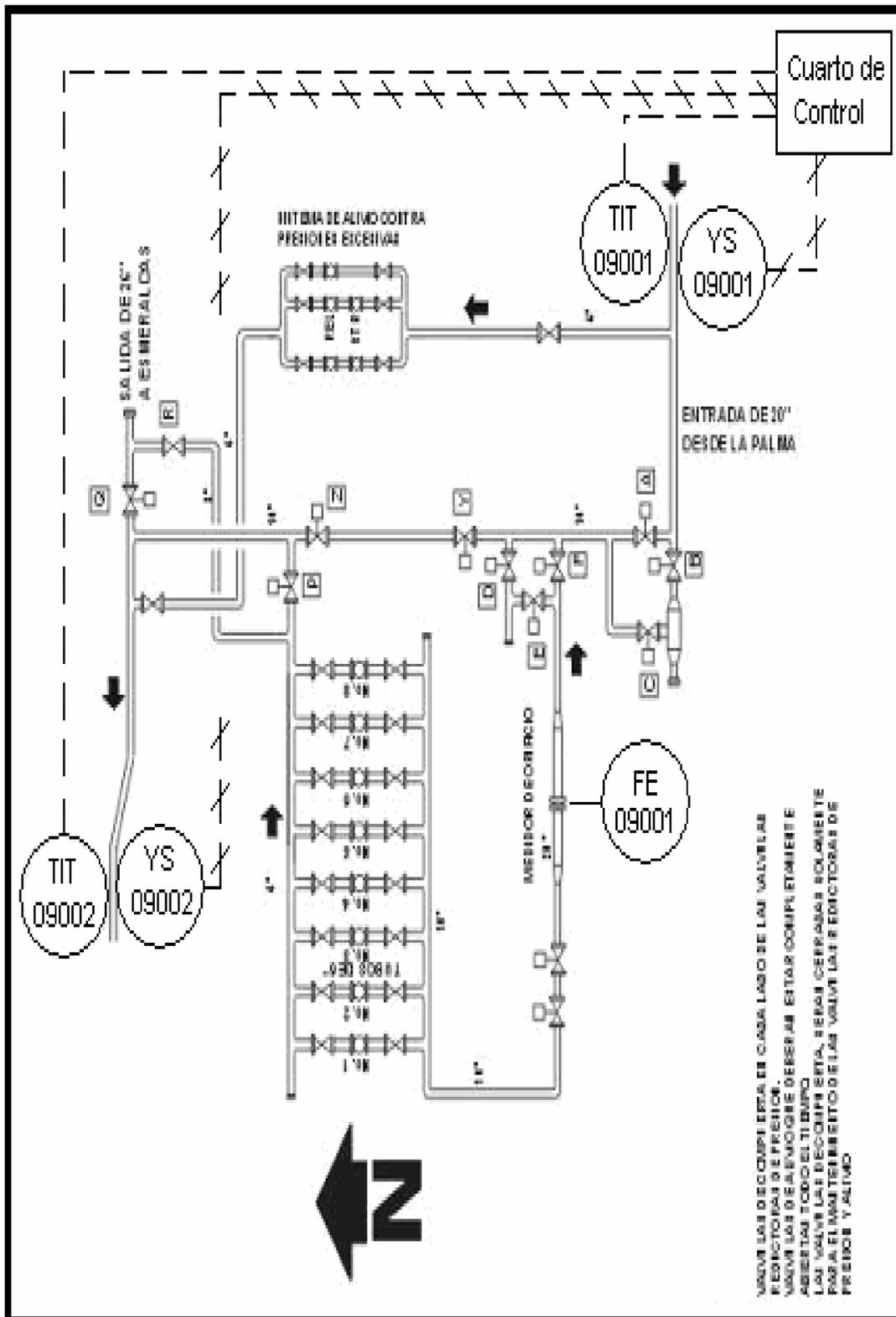


Figura 5.24. Estación Reductora Santo Domingo

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1

	Página
Figura 1.1. Perfil del Sistema de Oleoducto TransEcuatoriano.	3 –
Figura 1.2. Vista e la Tubería en la Estación #11, Terminal Marítimo de Balao	3 –
Figura 1.3. Diagrama de un Sistema básico de Control.....	5 –
Figura 1.4. Señales en Tiempo Continuo y Discreto.	13 –
Figura 1.5. Diagrama de un Sistema de Control Discreto.....	13 –
Figura 1.6. Representación Gráfica de una Secuencia.....	14 –
Figura 1.7. Secuencias Patrón.....	16 –

CAPITULO 2

Figura 2.1. Sistema masa en Movimiento.....	24 –
Figura 2.2. Sistema Depósito.....	25 –
Figura 2.3. Sistema de Amortiguación.....	25 –
Figura 2.4. Modelo de Respuesta de la planta (Variable controlada vs. Manipulada)..	27 –
Figura 2.5. Respuesta del Controlador Implementado MPC.....	28 –
Figura 2.6. Respuesta del Controlador anterior FLC.....	28 –
Figura 2.7. Parámetros del Bloque MPC.....	33 –
Figura 2.8. Validación del Modelo.	35 –

CAPITULO 3

Figura 3.1. Estrategia de Control Predictivo.	40 –
--	------

Figura 3.2. Estructura Básica de MPC.....	– 41 –
Figura 3.3a). Respuesta Impulsional.....	– 44 –
Figura 3.3b). Respuesta ante Escalón.	– 44 –
Figura 3.4. Trayectoria de referencia.....	– 46 –
Figura 3.5. Punto de Operación óptimo de un proceso típico	– 50 –

CAPITULO 4

Figura 4.1. Diagrama de Bloques del Controlador MPC.....	– 56 –
Figura 4.2. Estrategia del Controlador por Presión de Descarga.....	– 136 –
Figura 4.3. Estrategia del Controlador por Flujo.....	– 137 –
Figura 4.4. Respuesta del Proceso para Controlador por presión de Descarga.....	– 58 –
Figura 4.5. Respuesta del proceso para Controlador por Flujo	– 59 –
Figura 4.6. Parámetros de Respuesta al Escalón (Control P-Descarga)	– 59 –
Figura 4.7. Parámetros de Respuesta al Escalón (Control Flujo).....	– 60 –
Figura 4.8. Proceso con dos entradas y dos salidas.	– 61 –
Figura 4.9. Proceso controlado con realimentación mediante un controlador	– 61 –
Figura 4.10. Implementación del bloque MPC en el Delta V.	– 64 –
Figura 4.11. Implementación tradicional vs. MPC.....	– 69 –
Figura 4.12. Bloque de Función MPC.	– 67 –
Figura 4.13. Diagrama esquemático del bloque MPC	– 68 –

CAPITULO 5

Figura 5.1. Diagrama de Bloques del Sistema de Control Estación #1.	– 71 –
Figura 5.2. Unidad de Bombeo N°1	– 73 –
Figura 5.3. Módulo de Control de Velocidad,11 SPEED CONTROL	– 82 –
Figura 5.4. Secuencia de los Motores ALCO.....	– 74 –
Figura 5.5. Arquitectura DeltaV.	– 77 –
Figura 5.6. Estación de Trabajo.....	– 79 –
Figura 5.7. Red de Control.....	– 79 –
Figura 5.8. PLC DeltaV.	– 80 –

Figura 5.9. Controlador M5PLUS.	– 81 –
Figura 5.10. Control Studio con Implementación MPC	– 82 –
Figura 5.11. MPC Predict y su generación de modelos de procesos.	– 83 –
Figura 5.12. Banco de Prueba para el nuevo controlador	– 84 –
Figura 5.13. Actuador Eléctrico ProAct Model IV Digital Plus.	– 84 –
Figura 5.14. Estrategia de control para la simulación en el Taller	– 85 –
Figura 5.15. Pruebas Realizadas, (Control por Flujo)	– 86 –
Figura 5.16. Pruebas Realizadas, (Control de Presión).....	– 87 –
Figura 5.17. Estación Lago Agrío.....	– 147 –
Figura 5.18. Estación Lumbaqui.....	– 148 –
Figura 5.19. Estación El Salado.....	– 149 –
Figura 5.20. Estación Baeza	– 150 –
Figura 5.21. Estación Papallacta.....	– 151 –
Figura 5.22. Estación Quininde.	– 152 –
Figura 5.23. Estación Reductora San Juan.....	– 153 –
Figura 5.24. Estación Reductora Chiriboga.	– 154 –
Figura 5.25. Estación Reductora La Palma.	– 155 –
Figura 5.26. Estación Reductora Santo Domingo.	– 156 –

CAPITULO 6

Figura 6.1. Diagrama de bloques de la estructura del bloque MPC.	– 95 –
Figura 6.2. Aplicaciones de Procesos No – Lineales.....	– 98 –
Figura 6.3. Cálculos en un NMPC.....	– 102 –

CAPITULO 7

Figura 7.1. Flujo de crudo de petróleo transportado con el actual controlador.....	– 106 –
--	---------

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO 1

	Página
Tabla 1.1. Estaciones de Bombeo SOTE	– 2 –
Tabla 1.2. Estaciones Reductoras de Presión SOTE	– 2 –
Tabla 1.3. Tipos de Sistemas de Control.....	– 5 –
Tabla 1.4. Sistemas de Control Diseñados por el Hombre	– 6 –
Tabla 1.5. Principales problemas de Control	– 9 –

CAPITULO 4

Tabla 4.1. Datos de la Planta para el controlador MPC por P-Descarga	– 166 –
Tabla 4.2. Datos de la Planta para el controlador MPC por Flujo.....	– 187 –
Tabla 4.3. Variables que intervienen en el controlador por P-Descarga.....	– 57 –
Tabla 4.4. Variables que intervienen en el controlador por Flujo	– 57 –

CAPITULO 5

Tabla 5.1. Puntos fijos de Operación del SOTE.....	– 89 –
Tabla 5.2. Parámetros presentes en el controlador FLC actual	– 90 –

CAPITULO 6

Tabla 6.1. Compañías NMPC y nombres de productos.....	– 101 –
Tabla 6.2. Comparación de Tecnología de control NMPC Industrial	– 101 –

GLOSARIO

API.- American Petroleum Institute, organismo estadounidense de la industria petrolera, Fundada en 1920, la API es la organización de mayor autoridad normativa de los equipos de perforación y, de producción petrolera. Publica códigos que se aplican para todas estas materias. Patrocina también divisiones de transporte, refinación y mercadeo.

$$Densidad \ [^{\circ} API] = \frac{141.5}{\gamma} - 131.5$$

Donde:

γ , gravedad específica con relación al H_2O a $60^{\circ} F$ y 760 mm de Hg .

API Gravity.-Gravedad del petróleo, determinada a base de los estándares del American Petroleum Institute (API). A mayor gravedad API, mayor calidad del crudo y viceversa.

TIPO DE CRUDO	DENSIDAD [$^{\circ}$ API]
Condensado	A partir de 42
Liviano	más de 30
Mediano	de 22,0 hasta 29,9
Pesado	de 10,0 hasta 21,9
Extrapesado	hasta 9,9
Bitumen	promedio 8,2

BPPD Barriles de Petróleo por Día

Barril.- Unidad de medida de volumen para petróleo y derivados; equivale a 42 galones Americanos o 158.98 litros medidos a 60° Fahrenheit. (15.5° C.)

Bits.- Es el acrónimo de **B**inary **d**igit. (Dígito binario). Un bit es un dígito del sistema de numeración binario. La Real Academia Española (RAE) ha aceptado la palabra bit con el plural es bits.

Cabotaje.- Comercio que se realiza entre puertos de un mismo Estado. Navegación o tráfico de buques – tanque que transportan petróleo o derivados y que se realiza por inmediaciones a vista de la costa del mar.

DeviceNet.- Proporciona una red flexible y de conexión sencilla que ofrece entre sus beneficios más inmediatos, un control descentralizado y permite la conexión de dispositivos de diferentes marcas gracias a la interoperatividad y su carácter abierto y estándar. Con su instalación se obtiene una reducción drástica del cableado, del tiempo de puesta en marcha y del coste de la instalación porque elimina la necesidad de recorrer largas distancias de cable.

DMC (*Dynamic Matrix Control*) propuesto en (Cutler & Ramaker 1980), utiliza como modelo de predicción la respuesta ante escalón, lo cual limita su aplicación a plantas estables, considera un coste cuadrático penalizando el esfuerzo de control y no considera restricciones en la optimización.

EMC.- Compatibilidad Electromagnética, cuyo objetivo es asegurar que el equipo no perturbe a otros equipos, servicios de radiocomunicación, redes de alimentación u otros, además verifica que el equipo pueda funcionar sin degradación de su propia calidad en presencia de una onda electromagnética,

Ethernet.- Es el nombre de una tecnología de redes de computadoras de área local (LANs) basada en tramas de datos. Ethernet define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de trama del nivel de enlace de datos del modelo OSI. Ethernet se refiere a las redes de área local y dispositivos bajo el estándar IEEE 802.3 que define el protocolo CSMA/CD, aunque actualmente se llama Ethernet a todas las redes cableadas que usen el formato de trama.

Foundation Fieldbus.- Fieldbus es un estándar abierto para entradas, salidas y dispositivos de control de procesos en red que cuando se configuran pueden correr independientemente de una PC. Fieldbus puede operar independientemente de una PC porque dispositivos llamados Link Masters (como el FP-3000) tienen capacidades de procesamiento y son capaces de controlar el bus. También existen dispositivos básicos que no pueden controlar el bus, pero proveen entradas, salidas y funcionalidad adicional como PID o ejecución de bloques de expresiones.

Gbps Giga Bits por Segundo

GPC (*Generalized Predictive Control*) propuesto en (Clarke, Mohtadi & Tuffs 1987a, Clarke, Mohtadi & Tuffs 1987b), utiliza como modelo de predicción la formulación CARIMA, que incorpora una perturbación modelada como ruido blanco. Incorpora restricciones y existen resultados asociados a la estabilidad.

HART.- Highway Addressable Remote Transducer (HART) es una versión de comunicación de campo digital que llegó a ser un estándar en la industria. HART incluye numerosas funciones de bus de campo, pero la señal analógica medida es usada para transmitir información digital. Para este propósito, una señal adicional es modulada con la señal medida usando procesos FSK (Frequency Shift Keying). Las dos frecuencias de la señal adicional, 1200 Hz. Y 2200 Hz, representan los valores de bits 1 y 0.

Esto hace posible transferir información adicional sin afectar la señal media. La información en cuestión podría originarse del dispositivo de campo o variables de proceso, estado de dispositivos, etc.

I/O Notación para variables de Entrada/Salida

IDCOM.- (*Identification-Command* o *Model Predictive Heuristic Control*) propuesto en (Richalet, Rault, Testud & Papon 1978), utiliza como modelo de predicción la respuesta impulsional (FIR), función de coste cuadrática, y restricciones en las entradas y salidas. El algoritmo de optimización es heurístico.

IEEE.- Corresponde a las siglas de *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, el **Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos**, una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas. Es la mayor asociación internacional sin fines de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros eléctricos, ingenieros en electrónica, ingenieros en sistemas e ingenieros en telecomunicación.

Km. Kilómetros

ms. Milisegundos

Msnm Metros sobre el nivel del mar.

MPC Acrónimo derivado del término inglés *Model Predictive Control*. Dado que estas siglas son con las que se denomina frecuentemente esta técnica de control en la literatura, se utilizarán para designarla a lo largo de este documento

OTA Oleoducto Trasandino

PETROECUADOR Empresa Estatal de Petróleos del Ecuador

PlantWeb, Arquitectura de planta digital probada que utiliza el poder de inteligencia predictiva para mejorar el diseño de la planta. Emplea estándares de comunicación abierta para inteligencia de campo enlazada, sistemas y aplicaciones en una red de planta que libera información cuando y donde esta es necesitada

RG.- Matriz de Ganancia Relativa

RPM Revoluciones por Minuto.

SOTE Sistema de Oleoducto Transecuatoriano

Conversiones

FACTORES DE CONVERSION	
1 Bl = 42 gls.	1 gls. = 3,79 litros
1 TM = 1000 Kg.	1 Kg. = 1000 gr.
PRODUCTOS	
Kilos a Galones (se multiplica por)	
GLP	0,48930
ASFALTO AP-3	0,25991
ASFALTO RC-250	0,27470
TM a BLS (se multiplica por)	TM a GLS (se multiplica por)
DIESEL 1 7,670476	322,15992
DIESEL 2 7,378440	309,89448
GALONES AMERICANOS	3,7853 LITROS
METROS CUBICOS	6,2898 BARRILES
TONELADAS	11,65 BARRILES

TABLAS DE LOS MODELOS OBTENIDOS

DeltaV_MPC_Data

	Presión de Descarga (psi)	Velocidad Media (RPM)	Número de Máquinas	MNPLT1 (%)	Flujo (BPH)	Presión de Succión (psi)	Densidad Estándar (°API)
1	1479,880	1023,406	6,0	84,59	14760,100	117,046	24,90
2	1479,949	1023,391	6,0	84,59	14854,310	116,948	24,90
3	1480,059	1023,378	6,0	84,59	14631,310	116,967	24,90
4	1480,041	1023,379	6,0	84,59	14760,650	116,951	24,90
5	1479,995	1023,393	6,0	84,59	14704,450	116,906	24,90
6	1480,042	1023,411	6,0	84,59	14693,710	116,792	24,90
7	1480,042	1023,403	6,0	84,59	14390,770	116,921	24,90
8	1480,052	1023,420	6,0	84,59	14630,760	116,963	24,90
9	1480,098	1023,389	6,0	84,59	14389,650	116,805	24,90
10	1479,971	1023,385	6,0	84,59	14771,450	117,017	24,90
11	1480,077	1023,378	6,0	84,59	14593,060	117,078	24,90
12	1480,045	1023,405	6,0	84,59	14581,130	117,078	24,90
13	1480,219	1023,399	6,0	84,59	14556,370	116,964	24,90
14	1480,156	1023,382	6,0	94,59	14479,150	116,999	24,90
15	1480,152	1023,377	6,0	94,59	14572,520	116,963	24,90
16	1479,989	1023,387	6,0	94,59	14829,780	117,063	24,90
17	1480,121	1023,397	6,0	94,59	14800,100	117,030	24,90
18	1480,088	1023,375	6,0	94,59	14584,560	116,939	24,90
19	1480,060	1023,382	6,0	94,59	14690,200	116,995	24,90
20	1479,999	1023,357	6,0	94,59	14492,270	116,942	24,90
21	1480,023	1023,385	6,0	94,59	14563,340	116,910	24,90
22	1479,966	1023,369	6,0	94,59	14506,040	116,916	24,90
23	1480,004	1023,388	6,0	94,59	14484,490	117,012	24,90
24	1480,012	1023,390	6,0	94,59	14474,250	117,045	24,90
25	1479,905	1023,380	6,0	94,59	14631,970	116,865	24,90
26	1479,959	1023,370	6,0	94,59	14656,940	116,915	24,90
27	1479,964	1023,380	6,0	94,59	14718,030	116,972	24,90
28	1479,962	1023,392	6,0	94,59	14745,360	116,994	24,90
29	1479,964	1023,351	6,0	94,59	14682,530	116,937	24,90
30	1480,071	1023,368	6,0	94,59	14682,530	116,777	24,90
31	1480,022	1023,374	6,0	94,59	14760,980	116,829	24,90
32	1479,964	1023,383	6,0	94,59	14810,110	116,955	24,90
33	1479,964	1023,363	6,0	94,59	14769,380	117,028	24,90
34	1480,001	1023,368	6,0	94,59	14659,030	116,887	24,90
35	1480,075	1023,369	6,0	94,59	14834,890	117,003	24,90
36	1480,253	1023,370	6,0	94,59	14764,910	116,931	24,90
37	1480,253	1023,409	6,0	94,59	14652,770	117,053	24,90
38	1479,971	1023,372	6,0	94,59	14765,230	116,961	24,90
39	1479,971	1023,370	6,0	94,59	14755,960	116,961	24,90
40	1479,964	1023,368	6,0	94,59	14754,540	116,959	24,90
41	1480,037	1023,367	6,0	94,59	14670,340	117,027	24,90
42	1480,020	1023,377	6,0	94,59	14708,940	116,786	24,90
43	1480,154	1023,363	6,0	94,59	14670,240	116,839	24,90
44	1480,131	1023,380	6,0	94,59	14765,670	116,906	24,90
45	1480,195	1023,373	6,0	94,59	14552,390	116,844	24,90
46	1480,040	1023,397	6,0	94,59	14740,990	116,940	24,90
47	1480,049	1023,374	6,0	94,59	14512,590	116,867	24,90

48	1480,171	1023,367	6,0	94,59	14566,880	116,848	24,90
49	1480,100	1023,377	6,0	94,59	14667,600	116,834	24,90
50	1480,084	1023,383	6,0	94,59	14701,490	117,014	24,90
51	1480,082	1023,382	6,0	94,59	14682,310	117,014	24,90
52	1480,106	1023,373	6,0	94,59	14622,390	116,944	24,90
53	1479,985	1023,374	6,0	94,59	14396,030	116,963	24,90
54	1479,950	1023,371	6,0	94,59	14529,680	117,007	24,90
55	1479,964	1023,358	6,0	94,59	14642,320	116,891	24,90
56	1479,948	1023,366	6,0	94,59	14607,960	116,983	24,90
57	1479,964	1023,368	6,0	94,59	14902,380	116,948	24,90
58	1479,953	1023,357	6,0	94,59	14611,260	116,948	24,90
59	1479,967	1023,357	6,0	94,59	14777,450	117,031	24,90
60	1479,819	1023,361	6,0	94,59	14809,890	116,927	24,90
61	1476,803	1023,230	6,0	94,59	14515,810	118,319	24,90
62	1476,803	999,348	6,0	94,59	14298,130	118,319	24,90
63	1474,151	1002,421	6,0	94,59	14578,370	117,231	24,90
64	1474,470	1004,070	6,0	94,59	14606,960	117,343	24,90
65	1475,369	1007,566	6,0	94,59	14489,930	117,077	24,90
66	1476,095	1010,952	6,0	94,59	14521,580	117,120	24,90
67	1476,256	1014,236	6,0	94,59	14508,930	117,161	24,90
68	1479,413	1017,300	6,0	94,59	14770,690	117,119	24,90
69	1497,357	1019,983	6,0	94,59	15020,590	114,133	24,90
70	1498,961	1022,346	6,0	94,59	15390,200	114,754	24,90
71	1499,046	1023,960	6,0	94,59	15552,200	115,567	24,90
72	1500,228	1024,849	6,0	94,59	15615,560	115,239	24,90
73	1499,537	1025,079	6,0	94,59	15386,330	115,548	24,90
74	1496,665	1024,993	6,0	94,59	15205,090	115,628	24,90
75	1490,476	1024,167	6,0	94,59	15091,740	116,691	24,90
76	1485,127	1022,548	6,0	94,59	14835,320	118,083	24,90
77	1486,425	1019,036	6,0	94,59	14571,960	116,820	24,90
78	1486,425	1015,759	6,0	94,59	14722,080	116,820	24,90
79	1488,189	1012,564	6,0	94,59	14798,900	116,395	24,90
80	1487,892	1009,105	6,0	94,59	14843,350	116,798	24,90
81	1487,319	1007,261	6,0	94,59	14624,270	116,735	24,90
82	1486,971	1001,704	6,0	94,59	14740,120	116,741	24,90
83	1484,833	1025,661	6,0	94,59	14890,810	118,026	24,90
84	1479,833	1024,795	6,0	94,59	14697,880	118,026	24,90
85	1477,287	1022,711	6,0	94,59	14373,970	117,810	24,90
86	1475,588	1020,992	6,0	94,59	14221,320	117,855	24,90
87	1475,389	1019,930	6,0	94,59	14194,110	117,609	24,90
88	1475,389	1019,199	6,0	94,59	14210,780	117,456	24,90
89	1474,134	1019,035	6,0	94,59	14321,200	117,635	24,90
90	1472,915	1018,680	6,0	94,59	14332,450	117,656	24,90
91	1471,929	1018,190	6,0	94,59	14134,630	117,891	24,90
92	1470,579	1017,402	6,0	94,59	14202,730	117,760	24,90
93	1469,547	1017,160	6,0	94,59	14389,870	117,806	24,90
94	1468,835	1016,467	6,0	94,59	13921,750	117,921	24,90
95	1468,107	1016,076	6,0	94,59	14259,320	117,919	24,90
96	1467,221	1015,895	6,0	94,59	14244,630	117,763	24,90
97	1466,357	1015,356	6,0	94,59	14049,020	117,913	24,90
98	1466,357	1014,981	6,0	94,59	14034,790	118,090	24,90
99	1465,128	1014,811	6,0	94,59	14034,790	117,902	24,90
100	1464,474	1014,464	6,0	94,59	14142,150	118,003	24,90
101	1463,539	1014,146	6,0	94,59	14092,290	118,061	24,90
102	1462,877	1013,824	6,0	94,59	14088,170	118,089	24,90
103	1462,877	1013,380	6,0	94,59	14081,080	117,971	24,90

104	1461,004	1013,252	6,0	94,59	14090,340	118,008	24,90
105	1460,395	1013,004	6,0	94,59	13786,410	118,066	24,90
106	1460,126	1012,817	6,0	94,59	14080,850	117,885	24,90
107	1459,659	1012,535	6,0	94,59	14091,490	117,922	24,90
108	1459,659	1012,389	6,0	94,59	14110,450	117,922	24,90
109	1458,487	1012,214	6,0	94,59	14073,530	118,082	24,90
110	1457,967	1012,104	6,0	94,59	14175,710	118,003	24,90
111	1457,501	1011,903	6,0	94,59	14045,000	117,934	24,90
112	1457,219	1011,746	6,0	94,59	13945,560	117,946	24,90
113	1457,219	1011,518	6,0	94,59	13949,370	117,998	24,90
114	1456,321	1011,375	6,0	94,59	14122,430	117,930	24,90
115	1456,144	1011,314	6,0	94,59	14030,200	117,965	24,90
116	1455,840	1011,213	6,0	94,59	14141,010	117,962	24,90
117	1455,840	1011,089	6,0	94,59	14030,430	117,786	24,90
118	1455,268	1010,929	6,0	94,59	14378,340	117,913	24,90
119	1454,607	1010,862	6,0	94,59	14183,090	117,950	24,90
120	1454,203	1010,758	6,0	94,59	14056,120	118,017	24,90
121	1453,926	1010,683	6,0	94,59	14226,180	117,853	24,90
122	1453,635	1010,592	6,0	94,59	13874,230	118,012	24,90
123	1453,502	1010,520	6,0	94,59	14111,930	117,848	24,90
124	1453,336	1010,466	6,0	94,59	14141,920	117,871	24,90
125	1453,211	1010,374	6,0	94,59	13978,330	117,591	24,90
126	1452,900	1010,327	6,0	94,59	13974,980	117,854	24,90
127	1452,772	1010,328	6,0	94,59	14112,050	117,959	24,90
128	1452,590	1010,213	6,0	94,59	14323,340	117,831	24,90
129	1452,590	1010,151	6,0	94,59	14183,090	117,876	24,90
130	1452,048	1010,127	6,0	94,59	14033,070	117,891	24,90
131	1451,571	1010,072	6,0	94,59	14279,530	117,731	24,90
132	1451,450	1010,030	6,0	94,59	14288,660	117,706	24,90
133	1451,106	1009,983	6,0	94,59	14382,040	117,710	24,90
134	1451,138	1009,976	6,0	94,59	14176,160	117,767	24,90
135	1450,907	1009,980	6,0	94,59	14300,490	117,767	24,90
136	1450,763	1009,968	6,0	94,59	14118,440	117,666	24,90
137	1450,609	1009,972	6,0	94,59	14248,250	117,563	24,90
138	1450,487	1009,985	6,0	94,59	14126,540	117,563	24,90
139	1450,361	1009,975	6,0	94,59	14022,500	117,755	24,90
140	1450,197	1009,979	6,0	94,59	14341,210	117,747	24,90
141	1449,996	1009,989	6,0	94,59	14214,520	117,732	24,90
142	1449,893	1009,985	6,0	94,59	14210,890	117,615	24,90
143	1449,727	1009,978	6,0	94,59	14126,310	117,615	24,90
144	1449,741	1010,011	6,0	94,59	14397,370	117,612	24,90
145	1449,718	1010,011	6,0	94,59	14217,240	117,653	24,90
146	1449,761	1010,054	6,0	94,59	14283,590	117,575	24,90
147	1449,787	1010,051	6,0	94,59	14535,000	117,701	24,90
148	1449,787	1010,076	6,0	94,59	14228,340	117,638	24,90
149	1449,651	1010,093	6,0	94,59	14341,320	117,584	24,90
150	1449,550	1010,103	6,0	94,59	14231,510	117,774	24,90
151	1449,577	1010,107	6,0	94,59	14112,850	117,548	24,90
152	1449,639	1010,108	6,0	94,59	14243,610	117,681	24,90
153	1449,657	1010,133	6,0	94,59	14276,480	117,587	24,90
154	1449,380	1010,146	6,0	94,59	14213,840	117,726	24,90
155	1449,465	1010,138	6,0	94,59	14269,710	117,476	24,90
156	1449,427	1010,132	6,0	94,59	14242,370	117,579	24,90
157	1449,427	1010,174	6,0	94,59	14290,800	117,497	24,90
158	1449,638	1010,201	6,0	74,59	14319,070	117,571	24,90
159	1449,562	1010,224	6,0	74,59	14230,490	117,483	24,90

160	1449,464	1010,257	6,0	74,59	14416,380	117,567	24,90
161	1449,544	1010,248	6,0	74,59	14391,780	117,523	24,90
162	1449,605	1010,244	6,0	74,59	14365,560	117,629	24,90
163	1449,605	1010,280	6,0	74,59	14109,990	117,606	24,90
164	1449,573	1010,271	6,0	74,59	14384,610	117,653	24,90
165	1449,600	1010,261	6,0	74,59	14301,510	117,705	24,90
166	1449,662	1010,282	6,0	74,59	14110,110	117,488	24,90
167	1449,770	1010,299	6,0	74,59	14133,260	117,355	24,90
168	1449,804	1010,312	6,0	74,59	14458,550	117,614	24,90
169	1449,804	1010,350	6,0	74,59	14306,910	117,428	24,90
170	1450,279	1010,366	6,0	74,59	14306,910	117,682	24,90
171	1450,330	1010,368	6,0	74,59	14474,140	117,627	24,90
172	1450,318	1010,332	6,0	74,59	14213,270	117,636	24,90
173	1450,318	1010,291	6,0	74,59	14284,720	117,585	24,90
174	1450,140	1010,291	6,0	74,59	14468,240	117,448	24,90
175	1449,947	1010,273	6,0	74,59	14336,160	117,776	24,90
176	1449,991	1010,229	6,0	74,59	14332,450	117,568	24,90
177	1449,865	1010,232	6,0	74,59	14563,120	117,630	24,90
178	1450,079	1010,235	6,0	74,59	14385,730	117,630	24,90
179	1449,993	1010,250	6,0	74,59	14413,030	117,635	24,90
180	1449,993	1010,280	6,0	74,59	14292,830	117,516	24,90
181	1450,195	1010,284	6,0	74,59	14167,530	117,612	24,90
182	1451,052	1010,283	6,0	74,59	14057,270	117,739	24,90
183	1451,869	1010,333	6,0	74,59	14291,590	117,739	24,90
184	1451,545	1010,312	6,0	74,59	14145,110	117,854	24,90
185	1450,910	1010,243	6,0	74,59	14154,900	117,892	24,90
186	1450,545	1010,185	6,0	74,59	14227,660	117,828	24,90
187	1450,453	1010,023	6,0	74,59	14222,560	117,738	24,90
188	1450,428	1009,971	6,0	74,59	14393,680	117,766	24,90
189	1450,424	1009,987	6,0	74,59	14305,790	117,596	24,90
190	1450,337	1010,010	6,0	74,59	14235,470	117,658	24,90
191	1450,330	1010,035	6,0	74,59	14325,700	117,758	24,90
192	1450,314	1010,013	6,0	74,59	14312,540	117,628	24,90
193	1450,290	1010,015	6,0	74,59	14252,770	117,594	24,90
194	1450,227	1010,032	6,0	74,59	14141,920	117,488	24,90
195	1450,208	1010,042	6,0	74,59	14396,250	117,488	24,90
196	1450,208	1010,030	6,0	74,59	14490,270	117,854	24,90
197	1450,037	1009,998	6,0	74,59	14399,270	117,696	24,90
198	1449,871	1010,012	6,0	74,59	14298,920	117,760	24,90
199	1449,871	1009,997	6,0	74,59	14527,240	117,703	24,90
200	1449,626	1009,993	6,0	74,59	14384,170	117,552	24,90
201	1449,626	1010,012	6,0	74,59	14355,690	117,774	24,90
202	1449,720	1010,025	6,0	74,59	14464,340	117,594	24,90
203	1449,791	1010,043	6,0	74,59	14267,680	117,653	24,90
204	1449,711	1010,084	6,0	74,59	14113,990	117,601	24,90
205	1449,828	1010,098	6,0	74,59	14233,430	117,555	24,90
206	1449,791	1010,078	6,0	74,59	14540,310	117,683	24,90
207	1449,829	1010,084	6,0	74,59	14358,380	117,612	24,90
208	1449,829	1010,111	6,0	74,59	14438,930	117,805	24,90
209	1449,537	1010,114	6,0	74,59	14541,200	117,765	24,90
210	1449,634	1010,105	6,0	74,59	14246,330	117,599	24,90
211	1449,629	1010,106	6,0	74,59	14289,900	117,566	24,90
212	1449,620	1010,132	6,0	74,59	14451,090	117,515	24,90
213	1449,721	1010,135	6,0	74,59	14308,490	117,580	24,90
214	1449,721	1010,153	6,0	74,59	14203,980	117,662	24,90
215	1449,820	1010,159	6,0	74,59	14114,560	117,608	24,90

216	1449,698	1010,139	6,0	74,59	14343,340	117,716	24,90
217	1449,766	1010,129	6,0	74,59	14266,780	117,658	24,90
218	1449,923	1010,117	6,0	74,59	14290,690	117,591	24,90
219	1449,897	1010,143	6,0	74,59	14548,400	117,673	24,90
220	1449,923	1010,157	6,0	74,59	14295,650	117,745	24,90
221	1449,874	1010,160	6,0	74,59	14382,820	117,710	24,90
222	1449,874	1010,144	6,0	74,59	14338,960	117,608	24,90
223	1449,844	1010,165	6,0	74,59	14228,340	117,657	24,90
224	1449,967	1010,158	6,0	74,59	14208,400	117,660	24,90
225	1449,809	1010,155	6,0	74,59	14088,970	117,532	24,90
226	1449,869	1010,154	6,0	74,59	14134,170	117,630	24,90
227	1449,993	1010,160	6,0	74,59	14486,930	117,663	24,90
228	1449,993	1010,194	6,0	74,59	14197,510	117,614	24,90
229	1449,997	1010,179	6,0	94,59	14190,130	117,687	24,90
230	1450,107	1010,172	6,0	94,59	14263,730	117,641	24,90
231	1449,887	1010,166	6,0	94,59	14346,600	117,614	24,90
232	1449,936	1010,138	6,0	94,59	14178,780	117,734	24,90
233	1449,912	1010,146	6,0	94,59	14240,450	117,637	24,90
234	1450,017	1010,163	6,0	94,59	14389,200	117,660	24,90
235	1449,870	1010,163	6,0	94,59	14268,580	117,715	24,90
236	1449,865	1010,160	6,0	94,59	14295,650	117,638	24,90
237	1450,087	1010,178	6,0	94,59	14077,760	117,634	24,90
238	1450,054	1010,184	6,0	94,59	14472,470	117,700	24,90
239	1450,145	1010,199	6,0	94,59	14272,080	117,700	24,90
240	1449,906	1010,199	6,0	94,59	14198,080	117,536	24,90
241	1449,907	1010,177	6,0	94,59	14104,280	117,576	24,90
242	1450,033	1010,170	6,0	94,59	14139,760	117,666	24,90
243	1450,086	1010,173	6,0	94,59	14395,470	117,730	24,90
244	1450,202	1010,167	6,0	94,59	14385,400	117,460	24,90
245	1450,038	1010,187	6,0	94,59	14243,380	117,639	24,90
246	1449,991	1010,177	6,0	94,59	14493,940	117,650	24,90
247	1449,961	1010,168	6,0	94,59	14272,080	117,831	24,90
248	1449,961	1010,161	6,0	94,59	14400,060	117,681	24,90
249	1450,048	1010,145	6,0	94,59	14253,330	117,795	24,90
250	1450,127	1010,152	6,0	94,59	14238,180	117,502	24,90
251	1450,032	1010,134	6,0	94,59	14103,600	117,641	24,90
252	1450,138	1010,139	6,0	94,59	14254,800	117,606	24,90
253	1450,086	1010,152	6,0	94,59	14513,590	117,750	24,90
254	1450,091	1010,144	6,0	94,59	14302,750	117,785	24,90
255	1450,064	1010,145	6,0	94,59	14313,100	117,629	24,90
256	1450,165	1010,151	6,0	94,59	14537,440	117,802	24,90
257	1450,227	1010,169	6,0	94,59	14254,120	117,610	24,90
258	1450,227	1010,145	6,0	94,59	14401,620	117,591	24,90
259	1450,099	1010,147	6,0	94,59	14159,450	117,638	24,90
260	1449,908	1010,130	6,0	94,59	14199,670	117,621	24,90
261	1449,931	1010,147	6,0	94,59	14205,000	117,621	24,90
262	1450,046	1010,109	6,0	94,59	14387,080	117,756	24,90
263	1449,982	1010,119	6,0	94,59	14288,100	117,756	24,90
264	1450,163	1010,148	6,0	94,59	14416,380	117,501	24,90
265	1450,101	1010,155	6,0	74,59	14179,350	117,693	24,90
266	1450,094	1010,135	6,0	74,59	14113,300	117,711	24,90
267	1450,094	1010,133	6,0	74,59	14202,950	117,689	24,90
268	1449,972	1010,117	6,0	74,59	14026,520	117,712	24,90
269	1450,132	1010,117	6,0	74,59	14448,860	117,653	24,90
270	1449,920	1010,136	6,0	74,59	14267,230	117,792	24,90
271	1450,186	1010,137	6,0	74,59	14312,320	117,589	24,90

272	1450,113	1010,130	6,0	74,59	14448,410	117,827	24,90
273	1450,113	1010,134	6,0	74,59	14425,990	117,829	24,90
274	1449,942	1010,144	6,0	74,59	14424,200	117,671	24,90
275	1450,107	1010,140	6,0	74,59	14248,360	117,769	24,90
276	1450,032	1010,140	6,0	74,59	14238,520	117,731	24,90
277	1449,921	1010,106	6,0	74,59	14253,330	117,607	24,90
278	1449,921	1010,117	6,0	74,59	14419,840	117,804	24,90
279	1450,071	1010,107	6,0	74,59	14272,080	117,714	24,90
280	1450,210	1010,117	6,0	74,59	14272,080	117,680	24,90
281	1450,126	1010,121	6,0	74,59	14275,460	117,598	24,90
282	1450,061	1010,104	6,0	94,59	14286,070	117,856	24,90
283	1450,005	1010,134	6,0	94,59	14352,770	117,655	24,90
284	1450,017	1010,120	6,0	94,59	14206,810	117,780	24,90
285	1449,973	1010,090	6,0	94,59	14253,900	117,610	24,90
286	1450,154	1010,086	6,0	94,59	14243,500	117,776	24,90
287	1450,154	1010,112	6,0	94,59	14349,740	117,634	24,90
288	1450,017	1010,128	6,0	94,59	14451,640	117,603	24,90
289	1450,017	1010,101	6,0	94,59	14348,170	117,628	24,90
290	1450,070	1010,110	6,0	94,59	14356,480	117,725	24,90
291	1450,079	1010,126	6,0	74,59	14325,810	117,592	24,90
292	1450,079	1010,090	6,0	74,59	14214,860	117,605	24,90
293	1450,057	1010,105	6,0	74,59	14303,650	117,739	24,90
294	1450,074	1010,101	6,0	74,59	14196,720	117,650	24,90
295	1449,938	1010,098	6,0	74,59	14348,620	117,705	24,90
296	1449,910	1010,095	6,0	74,59	14170,820	117,754	24,90
297	1449,942	1010,103	6,0	74,59	14323,680	117,598	24,90
298	1450,134	1010,080	6,0	74,59	14165,930	117,638	24,90
299	1450,134	1010,109	6,0	74,59	14371,170	117,621	24,90
300	1449,926	1010,131	6,0	74,59	14466,680	117,604	24,90
301	1449,786	1010,121	6,0	74,59	14353,450	117,604	24,90
302	1449,786	1010,070	6,0	74,59	14141,580	117,747	24,90
303	1449,964	1010,093	6,0	74,59	14319,850	117,731	24,90
304	1449,943	1010,101	6,0	74,59	14243,720	117,494	24,90
305	1450,000	1010,108	6,0	74,59	14253,450	117,731	24,90
306	1449,931	1010,111	6,0	74,59	14198,530	117,627	24,90
307	1449,987	1010,128	6,0	74,59	14258,080	117,599	24,90
308	1449,987	1010,104	6,0	74,59	14100,630	117,624	24,90
309	1450,100	1010,119	6,0	74,59	14349,520	117,698	24,90
310	1450,100	1010,104	6,0	74,59	14054,980	117,736	24,90
311	1450,040	1010,132	6,0	74,59	14193,310	117,594	24,90
312	1450,018	1010,127	6,0	74,59	14356,030	117,677	24,90
313	1450,018	1010,107	6,0	74,59	14199,210	117,619	24,90
314	1449,973	1010,107	6,0	74,59	14240,330	117,730	24,90
315	1449,952	1010,108	6,0	74,59	14440,380	117,761	24,90
316	1449,953	1010,114	6,0	74,59	14400,620	117,658	24,90
317	1450,008	1010,106	6,0	74,59	14501,160	117,631	24,90
318	1450,047	1010,102	6,0	74,59	14442,610	117,557	24,90
319	1449,991	1010,104	6,0	74,59	14061,510	117,715	24,90
320	1449,925	1010,115	6,0	74,59	14211,120	117,667	24,90
321	1449,957	1010,144	6,0	74,59	14215,310	117,588	24,90
322	1450,046	1010,098	6,0	74,59	14355,470	117,609	24,90
323	1449,967	1010,101	6,0	74,59	14409,340	117,746	24,90
324	1449,967	1010,095	6,0	74,59	14395,580	117,629	24,90
325	1450,061	1010,108	6,0	74,59	14210,320	117,568	24,90
326	1450,061	1010,117	6,0	74,59	14412,470	117,797	24,90
327	1450,045	1010,122	6,0	74,59	14364,330	117,652	24,90

328	1450,104	1010,111	6,0	74,59	14202,950	117,612	24,90
329	1450,004	1010,116	6,0	74,59	14405,870	117,630	24,90
330	1449,980	1010,114	6,0	74,59	14297,450	117,601	24,90
331	1449,862	1010,132	6,0	74,59	14238,180	117,395	24,90
332	1450,038	1010,096	6,0	74,59	14342,220	117,646	24,90
333	1449,943	1010,098	6,0	74,59	14315,920	117,642	24,90
334	1449,815	1010,106	6,0	74,59	14116,380	117,510	24,90
335	1449,815	1010,098	6,0	74,59	14481,150	117,581	24,90
336	1450,012	1010,102	6,0	74,59	14366,570	117,645	24,90
337	1450,012	1010,118	6,0	74,59	14218,030	117,623	24,90
338	1450,166	1010,125	6,0	74,59	14279,300	117,556	24,90
339	1450,036	1010,128	6,0	74,59	14379,460	117,632	24,90
340	1450,006	1010,125	6,0	74,59	14121,060	117,610	24,90
341	1449,958	1010,089	6,0	74,59	14197,280	117,632	24,90
342	1449,958	1010,088	6,0	74,59	14321,770	117,633	24,90
343	1450,118	1010,079	6,0	74,59	14161,160	117,663	24,90
344	1450,092	1010,126	6,0	74,59	14219,840	117,555	24,90
345	1450,017	1010,112	6,0	74,59	14209,080	117,690	24,90
346	1449,943	1010,099	6,0	74,59	14218,480	117,607	24,90
347	1449,958	1010,113	6,0	74,59	14530,900	117,712	24,90
348	1449,983	1010,104	6,0	74,59	14530,900	117,697	24,90
349	1449,868	1010,090	6,0	74,59	14342,670	117,721	24,90
350	1450,170	1010,102	6,0	74,59	14330,540	117,747	24,90
351	1449,980	1010,110	6,0	74,59	14187,640	117,570	24,90
352	1449,963	1010,092	6,0	74,59	14269,820	117,610	24,90
353	1450,018	1010,115	6,0	74,59	14245,990	117,630	24,90
354	1450,023	1010,095	6,0	74,59	14266,890	117,602	24,90
355	1450,117	1010,105	6,0	74,59	14400,170	117,636	24,90
356	1450,117	1010,110	6,0	74,59	14589,530	117,501	24,90
357	1450,180	1010,109	6,0	74,59	14266,100	117,499	24,90
358	1450,085	1010,113	6,0	74,59	14364,780	117,764	24,90
359	1450,085	1010,103	6,0	74,59	14544,410	117,479	24,90
360	1450,003	1010,096	6,0	74,59	14427,770	117,611	24,90
361	1450,158	1010,078	6,0	74,59	14415,150	117,658	24,90
362	1450,125	1010,097	6,0	94,59	14213,610	117,674	24,90
363	1450,125	1010,092	6,0	94,59	14269,710	117,674	24,90
364	1449,962	1010,076	6,0	94,59	14219,730	117,722	24,90
365	1450,031	1010,086	6,0	94,59	14153,420	117,716	24,90
366	1449,961	1010,069	6,0	94,59	14142,490	117,724	24,90
367	1449,961	1010,103	6,0	94,59	14199,670	117,591	24,90
368	1450,079	1010,107	6,0	94,59	14235,470	117,624	24,90
369	1450,051	1010,110	6,0	94,59	14245,870	117,683	24,90
370	1449,927	1010,103	6,0	94,59	14265,080	117,650	24,90
371	1449,927	1010,057	6,0	94,59	14268,360	117,694	24,90
372	1450,165	1010,079	6,0	94,59	14292,720	117,647	24,90
373	1450,089	1010,073	6,0	94,59	14082,680	117,655	24,90
374	1450,015	1010,082	6,0	94,59	14430,790	117,609	24,90
375	1449,829	1010,089	6,0	94,59	14370,500	117,621	24,90
376	1450,057	1010,056	6,0	94,59	14364,550	117,738	24,90
377	1450,168	1010,102	6,0	94,59	14260,790	117,604	24,90
378	1450,004	1010,092	6,0	94,59	14237,840	117,664	24,90
379	1449,948	1010,096	6,0	94,59	14031,350	117,653	24,90
380	1449,862	1010,068	6,0	94,59	14315,240	117,601	24,90
381	1449,994	1010,055	6,0	94,59	14320,300	117,569	24,90
382	1449,994	1010,060	6,0	94,59	14298,020	117,602	24,90
383	1450,062	1010,086	6,0	94,59	14252,660	117,502	24,90

384	1450,106	1010,069	6,0	94,59	14154,330	117,674	24,90
385	1450,151	1010,077	6,0	94,59	13977,400	117,652	24,90
386	1450,115	1010,111	6,0	94,59	14245,420	117,576	24,90
387	1450,102	1010,078	6,0	94,59	14345,930	117,689	24,90
388	1450,029	1010,034	6,0	94,59	14346,040	117,555	24,90
389	1449,940	1010,032	6,0	94,59	14339,080	117,618	24,90
390	1449,940	1010,012	6,0	94,59	14200,800	117,572	24,90
391	1450,174	1010,013	6,0	94,59	14195,920	117,685	24,90
392	1450,101	1010,049	6,0	94,59	14214,410	117,555	24,90
393	1449,854	1010,066	6,0	94,59	14472,020	117,481	24,90
394	1449,958	1010,054	6,0	94,59	14186,500	117,618	24,90
395	1449,975	1010,042	6,0	94,59	14264,180	117,515	24,90
396	1449,828	1010,045	6,0	94,59	14320,190	117,622	24,90
397	1449,828	1010,060	6,0	94,59	14128,250	117,706	24,90
398	1450,058	1010,064	6,0	74,59	14254,910	117,550	24,90
399	1450,058	1010,054	6,0	74,59	14173,440	117,638	24,90
400	1449,956	1010,086	6,0	74,59	14206,360	117,663	24,90
401	1449,967	1010,077	6,0	74,59	14166,160	117,606	24,90
402	1449,976	1010,058	6,0	74,59	14309,050	117,664	24,90
403	1449,976	1010,073	6,0	74,59	14193,080	117,619	24,90
404	1449,998	1010,087	6,0	74,59	14205,910	117,611	24,90
405	1449,986	1010,074	6,0	74,59	14325,590	117,716	24,90
406	1449,970	1010,065	6,0	74,59	13985,350	117,568	24,90
407	1450,110	1010,053	6,0	74,59	14201,710	117,631	24,90
408	1450,006	1010,066	6,0	74,59	14090,570	117,570	24,90
409	1450,087	1010,092	6,0	74,59	14181,050	117,555	24,90
410	1449,915	1010,041	6,0	74,59	14332,110	117,641	24,90
411	1450,081	1010,057	6,0	74,59	14253,330	117,615	24,90
412	1449,923	1010,049	6,0	74,59	14283,810	117,696	24,90
413	1449,923	1010,070	6,0	74,59	14421,630	117,596	24,90
414	1449,801	1010,069	6,0	74,59	14317,940	117,651	24,90
415	1450,143	1010,037	6,0	94,59	14170,030	117,483	24,90
416	1450,099	1010,065	6,0	94,59	14293,170	117,533	24,90
417	1450,171	1010,082	6,0	94,59	14447,850	117,544	24,90
418	1450,141	1010,093	6,0	94,59	14401,290	117,681	24,90
419	1449,940	1010,064	6,0	94,59	14362,090	117,684	24,90
420	1449,917	1010,045	6,0	94,59	14202,950	117,577	24,90
421	1449,988	1010,032	6,0	94,59	14196,720	117,467	24,90
422	1449,988	1010,046	6,0	94,59	14285,730	117,528	24,90
423	1450,056	1010,056	6,0	94,59	14435,360	117,578	24,90
424	1450,030	1010,062	6,0	74,59	14335,260	117,637	24,90
425	1449,898	1010,054	6,0	74,59	14272,870	117,701	24,90
426	1449,898	1010,042	6,0	74,59	14263,500	117,488	24,90
427	1449,824	1010,024	6,0	74,59	14202,050	117,594	24,90
428	1449,929	1010,044	6,0	74,59	14253,560	117,387	24,90
429	1450,074	1010,051	6,0	74,59	14244,520	117,521	24,90
430	1450,032	1010,070	6,0	74,59	14295,540	117,478	24,90
431	1450,020	1010,085	6,0	74,59	14095,490	117,577	24,90
432	1450,020	1010,089	6,0	74,59	14355,580	117,452	24,90
433	1449,997	1010,074	6,0	74,59	14203,630	117,459	24,90
434	1449,914	1010,071	6,0	74,59	14393,570	117,596	24,90
435	1449,888	1010,074	6,0	74,59	14337,620	117,613	24,90
436	1449,927	1010,085	6,0	74,59	14324,470	117,546	24,90
437	1449,936	1010,056	6,0	74,59	14363,210	117,456	24,90
438	1450,010	1010,072	6,0	74,59	14262,150	117,511	24,90
439	1450,032	1010,098	6,0	74,59	14406,090	117,642	24,90

440	1450,126	1010,087	6,0	74,59	14258,190	117,655	24,90
441	1449,912	1010,100	6,0	74,59	14430,560	117,558	24,90
442	1449,912	1010,104	6,0	74,59	14167,640	117,514	24,90
443	1449,859	1010,096	6,0	74,59	14264,970	117,494	24,90
444	1449,859	1010,066	6,0	74,59	14132,240	117,523	24,90
445	1449,966	1010,080	6,0	74,59	14386,850	117,554	24,90
446	1449,956	1010,092	6,0	74,59	14345,590	117,539	24,90
447	1450,013	1010,097	6,0	74,59	14317,830	117,561	24,90
448	1450,006	1010,091	6,0	74,59	14267,230	117,458	24,90
449	1450,017	1010,095	6,0	74,59	14323,900	117,700	24,90
450	1450,049	1010,114	6,0	74,59	14416,940	117,444	24,90
451	1449,985	1010,112	6,0	74,59	14346,940	117,502	24,90
452	1449,985	1010,074	6,0	74,59	14210,550	117,558	24,90
453	1450,089	1010,076	6,0	74,59	14341,660	117,547	24,90
454	1450,116	1010,091	6,0	74,59	14142,720	117,551	24,90
455	1450,070	1010,095	6,0	74,59	14318,050	117,516	24,90
456	1450,061	1010,090	6,0	74,59	14391,110	117,585	24,90
457	1450,072	1010,080	6,0	74,59	14199,440	117,496	24,90
458	1449,926	1010,086	6,0	74,59	14272,870	117,490	24,90
459	1449,946	1010,072	6,0	94,59	14107,710	117,654	24,90
460	1450,043	1010,101	6,0	94,59	14217,800	117,536	24,90
461	1450,094	1010,091	6,0	94,59	13986,620	117,553	24,90
462	1450,094	1010,080	6,0	94,59	14388,640	117,539	24,90
463	1450,076	1010,072	6,0	94,59	14400,280	117,601	24,90
464	1449,779	1010,074	6,0	94,59	14512,370	117,635	24,90
465	1449,900	1010,065	6,0	94,59	14244,630	117,509	24,90
466	1449,831	1010,055	6,0	94,59	14419,400	117,539	24,90
467	1449,831	1010,062	6,0	94,59	14212,370	117,574	24,90
468	1449,947	1010,068	6,0	94,59	14076,500	117,555	24,90
469	1450,105	1010,088	6,0	94,59	14220,180	117,522	24,90
470	1450,185	1010,096	6,0	94,59	14235,580	117,555	24,90
471	1450,054	1010,107	6,0	94,59	14240,780	117,570	24,90
472	1449,778	1010,084	6,0	94,59	14005,490	117,709	24,90
473	1449,778	1010,086	6,0	94,59	14043,740	117,587	24,90
474	1449,954	1010,072	6,0	94,59	14125,400	117,438	24,90
475	1450,106	1010,049	6,0	94,59	14172,640	117,580	24,90
476	1450,227	1010,066	6,0	94,59	14228,900	117,609	24,90
477	1450,070	1010,103	6,0	74,59	14293,170	117,753	24,90
478	1450,095	1010,108	6,0	74,59	14297,790	117,527	24,90
479	1450,027	1010,080	6,0	74,59	14404,420	117,590	24,90
480	1449,911	1010,078	6,0	74,59	14285,840	117,589	24,90
481	1449,935	1010,072	6,0	74,59	14358,720	117,649	24,90
482	1449,935	1010,072	6,0	74,59	14481,930	117,648	24,90
483	1449,944	1010,083	6,0	74,59	14365,790	117,475	24,90
484	1449,986	1010,086	6,0	74,59	14224,370	117,475	24,90
485	1450,070	1010,083	6,0	94,59	14175,030	117,701	24,90
486	1450,056	1010,095	6,0	94,59	14289,450	117,491	24,90
487	1450,020	1010,105	6,0	94,59	14321,880	117,378	24,90
488	1449,981	1010,072	6,0	94,59	14235,920	117,576	24,90
489	1449,979	1010,078	6,0	94,59	14260,900	117,502	24,90
490	1450,108	1010,094	6,0	94,59	14273,430	117,483	24,90
491	1449,959	1010,094	6,0	94,59	14480,820	117,628	24,90
492	1450,029	1010,090	6,0	94,59	14322,220	117,622	24,90
493	1449,920	1010,079	6,0	94,59	14294,520	117,538	24,90
494	1449,880	1010,061	6,0	94,59	14375,760	117,693	24,90
495	1449,992	1010,070	6,0	94,59	14393,010	117,448	24,90

496	1449,920	1010,104	6,0	94,59	14084,400	117,619	24,90
497	1449,988	1010,118	6,0	94,59	14292,610	117,492	24,90
498	1450,052	1010,118	6,0	94,59	14292,380	117,613	24,90
499	1449,969	1010,109	6,0	94,59	14324,130	117,584	24,90
500	1449,942	1010,105	6,0	94,59	14333,570	117,624	24,90
501	1449,916	1010,099	6,0	94,59	14324,920	117,576	24,90
502	1450,198	1010,096	6,0	94,59	14125,740	117,513	24,90
503	1450,195	1010,090	6,0	74,59	14405,990	117,526	24,90
504	1449,995	1010,119	6,0	74,59	14177,070	117,705	24,90
505	1449,995	1010,103	6,0	74,59	14204,430	117,520	24,90
506	1450,032	1010,085	6,0	74,59	14012,390	117,568	24,90
507	1450,032	1010,066	6,0	74,59	14495,380	117,541	24,90
508	1449,937	1010,089	6,0	74,59	13978,330	117,670	24,90
509	1450,071	1010,086	6,0	74,59	14335,370	117,513	24,90
510	1450,163	1010,076	6,0	74,59	14325,250	117,698	24,90
511	1450,064	1010,072	6,0	84,59	14364,890	117,553	24,90
512	1449,999	1010,080	6,0	84,59	14249,600	117,603	24,90
513	1449,884	1010,045	6,0	84,59	14364,110	117,634	24,90
514	1449,948	1010,054	6,0	84,59	14206,130	117,583	24,90
515	1450,040	1010,060	6,0	84,59	14256,720	117,635	24,90
516	1450,046	1010,059	6,0	84,59	14287,200	117,487	24,90
517	1450,560	1010,101	6,0	84,59	14002,160	117,494	24,90
518	1450,156	1010,078	6,0	84,59	14251,750	117,542	24,90
519	1450,057	1010,104	6,0	84,59	14398,040	117,438	24,90
520	1449,913	1010,071	6,0	84,59	14305,790	117,727	24,90
521	1449,843	1010,060	6,0	84,59	14228,450	117,526	24,90
522	1449,975	1010,041	6,0	84,59	14225,840	117,482	24,90
523	1450,056	1010,042	6,0	84,59	14143,520	117,637	24,90
524	1450,065	1010,079	6,0	84,59	14188,660	117,473	24,90
525	1449,926	1010,096	6,0	84,59	14104,060	117,839	24,90
526	1449,816	1010,061	6,0	84,59	14437,150	117,839	24,90
527	1449,923	1010,055	6,0	84,59	14034,680	117,610	24,90
528	1449,923	1010,053	6,0	84,59	14422,750	117,642	24,90
529	1450,056	1010,083	6,0	84,59	14382,600	117,552	24,90
530	1449,986	1010,096	6,0	84,59	14121,860	117,532	24,90
531	1449,976	1010,084	6,0	84,59	14331,320	117,597	24,90
532	1450,033	1010,077	6,0	84,59	14371,060	117,697	24,90
533	1450,106	1010,081	6,0	84,59	14245,200	117,677	24,90
534	1450,083	1010,100	6,0	84,59	14110,680	117,446	24,90
535	1450,189	1010,083	6,0	84,59	14285,280	117,612	24,90
536	1450,028	1010,078	6,0	84,59	14206,580	117,577	24,90
537	1450,024	1010,062	6,0	84,59	14025,840	117,655	24,90
538	1450,008	1010,075	6,0	84,59	14335,710	117,664	24,90
539	1450,052	1010,069	6,0	84,59	14462,010	117,491	24,90
540	1450,071	1010,062	6,0	84,59	14535,330	117,527	24,90
541	1449,972	1010,073	6,0	84,59	14414,930	117,481	24,90
542	1450,042	1010,070	6,0	84,59	14339,300	117,496	24,90
543	1449,959	1010,046	6,0	84,59	14219,620	117,715	24,90
544	1450,079	1010,045	6,0	84,59	14317,490	117,527	24,90
545	1449,997	1010,065	6,0	84,59	14435,810	117,693	24,90
546	1450,116	1010,048	6,0	84,59	14310,180	117,606	24,90
547	1449,942	1010,061	6,0	84,59	14184,680	117,604	24,90
548	1449,902	1010,059	6,0	84,59	14137,370	117,672	24,90
549	1449,972	1010,048	6,0	84,59	14469,020	117,560	24,90
550	1450,061	1010,031	6,0	84,59	14166,840	117,501	24,90
551	1450,104	1010,065	6,0	84,59	14351,760	117,608	24,90

552	1450,130	1010,076	6,0	84,59	14289,900	117,633	24,90
553	1449,999	1010,057	6,0	84,59	14340,760	117,581	24,90
554	1450,061	1010,064	6,0	84,59	14360,290	117,654	24,90
555	1450,012	1010,030	6,0	84,59	14308,710	117,587	24,90
556	1449,828	1010,045	6,0	84,59	14285,620	117,637	24,90
557	1449,912	1010,040	6,0	84,59	14227,770	117,475	24,90
558	1449,873	1010,016	6,0	84,59	14305,560	117,567	24,90

1	96,096	99,360	75,0	84,60	92,251	78,031	49,800
2	96,101	99,358	75,0	84,60	92,839	77,966	49,800
3	96,108	99,357	75,0	84,60	91,446	77,978	49,800
4	96,107	99,357	75,0	84,60	92,254	77,968	49,800
5	96,104	99,359	75,0	84,60	91,903	77,937	49,800
6	96,107	99,360	75,0	84,60	91,836	77,861	49,800
7	96,107	99,360	75,0	84,60	89,942	77,947	49,800
8	96,107	99,361	75,0	84,60	91,442	77,976	49,800
9	96,110	99,358	75,0	84,60	89,935	77,870	49,800
10	96,102	99,358	75,0	84,60	92,322	78,011	49,800
11	96,109	99,357	75,0	84,60	91,207	78,052	49,800
12	96,107	99,360	75,0	84,60	91,132	78,052	49,800
13	96,118	99,359	75,0	84,60	90,977	77,976	49,800
14	96,114	99,357	75,0	94,60	90,495	77,999	49,800
15	96,114	99,357	75,0	94,60	91,078	77,976	49,800
16	96,103	99,358	75,0	94,60	92,686	78,042	49,800
17	96,112	99,359	75,0	94,60	92,501	78,020	49,800
18	96,110	99,357	75,0	94,60	91,153	77,959	49,800
19	96,108	99,357	75,0	94,60	91,814	77,997	49,800
20	96,104	99,355	75,0	94,60	90,577	77,961	49,800
21	96,105	99,358	75,0	94,60	91,021	77,940	49,800
22	96,102	99,356	75,0	94,60	90,663	77,944	49,800
23	96,104	99,358	75,0	94,60	90,528	78,008	49,800
24	96,105	99,358	75,0	94,60	90,464	78,030	49,800
25	96,098	99,357	75,0	94,60	91,450	77,910	49,800
26	96,101	99,356	75,0	94,60	91,606	77,943	49,800
27	96,102	99,357	75,0	94,60	91,988	77,982	49,800
28	96,101	99,358	75,0	94,60	92,159	77,996	49,800
29	96,102	99,354	75,0	94,60	91,766	77,958	49,800
30	96,109	99,356	75,0	94,60	91,766	77,852	49,800
31	96,105	99,357	75,0	94,60	92,256	77,886	49,800
32	96,102	99,358	75,0	94,60	92,563	77,970	49,800
33	96,102	99,356	75,0	94,60	92,309	78,019	49,800
34	96,104	99,356	75,0	94,60	91,619	77,925	49,800
35	96,109	99,356	75,0	94,60	92,718	78,002	49,800
36	96,120	99,356	75,0	94,60	92,281	77,954	49,800
37	96,120	99,360	75,0	94,60	91,580	78,036	49,800
38	96,102	99,357	75,0	94,60	92,283	77,974	49,800
39	96,102	99,356	75,0	94,60	92,225	77,974	49,800
40	96,102	99,356	75,0	94,60	92,216	77,972	49,800
41	96,106	99,356	75,0	94,60	91,690	78,018	49,800
42	96,105	99,357	75,0	94,60	91,931	77,857	49,800
43	96,114	99,356	75,0	94,60	91,689	77,892	49,800
44	96,112	99,357	75,0	94,60	92,285	77,937	49,800
45	96,117	99,357	75,0	94,60	90,952	77,896	49,800
46	96,106	99,359	75,0	94,60	92,131	77,960	49,800
47	96,107	99,357	75,0	94,60	90,704	77,911	49,800
48	96,115	99,356	75,0	94,60	91,043	77,899	49,800

49	96,110	99,357	75,0	94,60	91,673	77,889	49,800
50	96,109	99,358	75,0	94,60	91,884	78,010	49,800
51	96,109	99,357	75,0	94,60	91,764	78,010	49,800
52	96,111	99,357	75,0	94,60	91,390	77,963	49,800
53	96,103	99,357	75,0	94,60	89,975	77,975	49,800
54	96,101	99,356	75,0	94,60	90,811	78,005	49,800
55	96,102	99,355	75,0	94,60	91,515	77,927	49,800
56	96,101	99,356	75,0	94,60	91,300	77,989	49,800
57	96,102	99,356	75,0	94,60	93,140	77,965	49,800
58	96,101	99,355	75,0	94,60	91,320	77,965	49,800
59	96,102	99,355	75,0	94,60	92,359	78,021	49,800
60	96,092	99,355	75,0	94,60	92,562	77,952	49,800
61	95,896	99,343	75,0	94,60	90,724	78,880	49,800
62	95,896	97,024	87,5	94,60	89,363	78,880	49,800
63	95,724	97,322	87,5	94,60	91,115	78,154	49,800
64	95,745	97,483	87,5	94,60	91,294	78,229	49,800
65	95,803	97,822	87,5	94,60	90,562	78,051	49,800
66	95,850	98,151	87,5	94,60	90,760	78,080	49,800
67	95,861	98,470	87,5	94,60	90,681	78,108	49,800
68	96,066	98,767	87,5	94,60	92,317	78,079	49,800
69	97,231	99,027	87,5	94,60	93,879	76,089	49,800
70	97,335	99,257	87,5	94,60	96,189	76,502	49,800
71	97,341	99,414	87,5	94,60	97,201	77,045	49,800
72	97,417	99,500	87,5	94,60	97,597	76,826	49,800
73	97,373	99,522	87,5	94,60	96,165	77,032	49,800
74	97,186	99,514	87,5	94,60	95,032	77,085	49,800
75	96,784	99,434	87,5	94,60	94,323	77,794	49,800
76	96,437	99,277	87,5	94,60	92,721	78,722	49,800
77	96,521	98,936	87,5	94,60	91,075	77,880	49,800
78	96,521	98,617	87,5	94,60	92,013	77,880	49,800
79	96,636	98,307	87,5	94,60	92,493	77,596	49,800
80	96,616	97,971	87,5	94,60	92,771	77,865	49,800
81	96,579	97,792	87,5	94,60	91,402	77,824	49,800
82	96,557	97,253	87,5	94,60	92,126	77,828	49,800
83	96,418	99,579	75,0	94,60	93,068	78,684	49,800
84	96,093	99,495	75,0	94,60	91,862	78,684	49,800
85	95,928	99,292	75,0	94,60	89,837	78,540	49,800
86	95,817	99,125	75,0	94,60	88,883	78,570	49,800
87	95,804	99,022	75,0	94,60	88,713	78,406	49,800
88	95,804	98,951	75,0	94,60	88,817	78,304	49,800
89	95,723	98,935	75,0	94,60	89,507	78,424	49,800
90	95,644	98,901	75,0	94,60	89,578	78,437	49,800
91	95,580	98,853	75,0	94,60	88,341	78,594	49,800
92	95,492	98,777	75,0	94,60	88,767	78,507	49,800
93	95,425	98,753	75,0	94,60	89,937	78,537	49,800
94	95,379	98,686	75,0	94,60	87,011	78,614	49,800
95	95,332	98,648	75,0	94,60	89,121	78,612	49,800
96	95,274	98,631	75,0	94,60	89,029	78,509	49,800
97	95,218	98,578	75,0	94,60	87,806	78,608	49,800
98	95,218	98,542	75,0	94,60	87,717	78,726	49,800
99	95,138	98,525	75,0	94,60	87,717	78,601	49,800
100	95,096	98,492	75,0	94,60	88,388	78,669	49,800
101	95,035	98,461	75,0	94,60	88,077	78,707	49,800
102	94,992	98,430	75,0	94,60	88,051	78,726	49,800
103	94,992	98,386	75,0	94,60	88,007	78,647	49,800
104	94,870	98,374	75,0	94,60	88,065	78,672	49,800

105	94,831	98,350	75,0	94,60	86,165	78,711	49,800
106	94,813	98,332	75,0	94,60	88,005	78,590	49,800
107	94,783	98,304	75,0	94,60	88,072	78,615	49,800
108	94,783	98,290	75,0	94,60	88,190	78,614	49,800
109	94,707	98,273	75,0	94,60	87,960	78,721	49,800
110	94,673	98,263	75,0	94,60	88,598	78,668	49,800
111	94,643	98,243	75,0	94,60	87,781	78,623	49,800
112	94,625	98,228	75,0	94,60	87,160	78,630	49,800
113	94,625	98,206	75,0	94,60	87,184	78,665	49,800
114	94,566	98,192	75,0	94,60	88,265	78,620	49,800
115	94,555	98,186	75,0	94,60	87,689	78,644	49,800
116	94,535	98,176	75,0	94,60	88,381	78,642	49,800
117	94,535	98,164	75,0	94,60	87,690	78,524	49,800
118	94,498	98,148	75,0	94,60	89,865	78,609	49,800
119	94,455	98,142	75,0	94,60	88,644	78,633	49,800
120	94,429	98,132	75,0	94,60	87,851	78,678	49,800
121	94,411	98,125	75,0	94,60	88,914	78,568	49,800
122	94,392	98,116	75,0	94,60	86,714	78,675	49,800
123	94,383	98,109	75,0	94,60	88,200	78,566	49,800
124	94,372	98,103	75,0	94,60	88,387	78,581	49,800
125	94,364	98,095	75,0	94,60	87,365	78,394	49,800
126	94,344	98,090	75,0	94,60	87,344	78,570	49,800
127	94,336	98,090	75,0	94,60	88,200	78,639	49,800
128	94,324	98,079	75,0	94,60	89,521	78,554	49,800
129	94,324	98,073	75,0	94,60	88,644	78,584	49,800
130	94,289	98,071	75,0	94,60	87,707	78,594	49,800
131	94,258	98,065	75,0	94,60	89,247	78,488	49,800
132	94,250	98,061	75,0	94,60	89,304	78,471	49,800
133	94,228	98,057	75,0	94,60	89,888	78,473	49,800
134	94,230	98,056	75,0	94,60	88,601	78,511	49,800
135	94,215	98,056	75,0	94,60	89,378	78,511	49,800
136	94,205	98,055	75,0	94,60	88,240	78,444	49,800
137	94,195	98,056	75,0	94,60	89,052	78,376	49,800
138	94,187	98,057	75,0	94,60	88,291	78,376	49,800
139	94,179	98,056	75,0	94,60	87,641	78,504	49,800
140	94,169	98,056	75,0	94,60	89,633	78,498	49,800
141	94,156	98,057	75,0	94,60	88,841	78,488	49,800
142	94,149	98,057	75,0	94,60	88,818	78,410	49,800
143	94,138	98,056	75,0	94,60	88,289	78,410	49,800
144	94,139	98,059	75,0	94,60	89,984	78,408	49,800
145	94,138	98,059	75,0	94,60	88,858	78,435	49,800
146	94,140	98,063	75,0	94,60	89,272	78,383	49,800
147	94,142	98,063	75,0	94,60	90,844	78,467	49,800
148	94,142	98,066	75,0	94,60	88,927	78,425	49,800
149	94,133	98,067	75,0	94,60	89,633	78,389	49,800
150	94,127	98,068	75,0	94,60	88,947	78,516	49,800
151	94,128	98,069	75,0	94,60	88,205	78,366	49,800
152	94,132	98,069	75,0	94,60	89,023	78,454	49,800
153	94,134	98,071	75,0	94,60	89,228	78,391	49,800
154	94,116	98,072	75,0	94,60	88,837	78,484	49,800
155	94,121	98,072	75,0	94,60	89,186	78,317	49,800
156	94,119	98,071	75,0	94,60	89,015	78,386	49,800
157	94,119	98,075	75,0	94,60	89,317	78,331	49,800
158	94,132	98,078	75,0	74,60	89,494	78,380	49,800
159	94,127	98,080	75,0	74,60	88,941	78,322	49,800
160	94,121	98,083	75,0	74,60	90,102	78,378	49,800

161	94,126	98,082	75,0	74,60	89,949	78,348	49,800
162	94,130	98,082	75,0	74,60	89,785	78,419	49,800
163	94,130	98,085	75,0	74,60	88,187	78,404	49,800
164	94,128	98,085	75,0	74,60	89,904	78,435	49,800
165	94,130	98,084	75,0	74,60	89,384	78,470	49,800
166	94,134	98,086	75,0	74,60	88,188	78,325	49,800
167	94,141	98,087	75,0	74,60	88,333	78,237	49,800
168	94,143	98,089	75,0	74,60	90,366	78,409	49,800
169	94,143	98,092	75,0	74,60	89,418	78,286	49,800
170	94,174	98,094	75,0	74,60	89,418	78,455	49,800
171	94,177	98,094	75,0	74,60	90,463	78,418	49,800
172	94,176	98,090	75,0	74,60	88,833	78,424	49,800
173	94,176	98,087	75,0	74,60	89,279	78,390	49,800
174	94,165	98,087	75,0	74,60	90,426	78,299	49,800
175	94,152	98,085	75,0	74,60	89,601	78,518	49,800
176	94,155	98,080	75,0	74,60	89,578	78,379	49,800
177	94,147	98,081	75,0	74,60	91,020	78,420	49,800
178	94,161	98,081	75,0	74,60	89,911	78,420	49,800
179	94,155	98,083	75,0	74,60	90,081	78,423	49,800
180	94,155	98,085	75,0	74,60	89,330	78,344	49,800
181	94,169	98,086	75,0	74,60	88,547	78,408	49,800
182	94,224	98,086	75,0	74,60	87,858	78,492	49,800
183	94,277	98,091	75,0	74,60	89,322	78,492	49,800
184	94,256	98,089	75,0	74,60	88,407	78,569	49,800
185	94,215	98,082	75,0	74,60	88,468	78,594	49,800
186	94,191	98,076	75,0	74,60	88,923	78,552	49,800
187	94,185	98,060	75,0	74,60	88,891	78,492	49,800
188	94,184	98,055	75,0	74,60	89,960	78,511	49,800
189	94,183	98,057	75,0	74,60	89,411	78,398	49,800
190	94,178	98,059	75,0	74,60	88,972	78,438	49,800
191	94,177	98,062	75,0	74,60	89,536	78,506	49,800
192	94,176	98,060	75,0	74,60	89,453	78,419	49,800
193	94,175	98,060	75,0	74,60	89,080	78,396	49,800
194	94,171	98,061	75,0	74,60	88,387	78,325	49,800
195	94,169	98,062	75,0	74,60	89,977	78,325	49,800
196	94,169	98,061	75,0	74,60	90,564	78,569	49,800
197	94,158	98,058	75,0	74,60	89,995	78,464	49,800
198	94,147	98,059	75,0	74,60	89,368	78,506	49,800
199	94,147	98,058	75,0	74,60	90,795	78,469	49,800
200	94,132	98,058	75,0	74,60	89,901	78,368	49,800
201	94,132	98,059	75,0	74,60	89,723	78,516	49,800
202	94,138	98,061	75,0	74,60	90,402	78,396	49,800
203	94,142	98,062	75,0	74,60	89,173	78,435	49,800
204	94,137	98,066	75,0	74,60	88,212	78,401	49,800
205	94,145	98,068	75,0	74,60	88,959	78,370	49,800
206	94,142	98,066	75,0	74,60	90,877	78,456	49,800
207	94,145	98,066	75,0	74,60	89,740	78,408	49,800
208	94,145	98,069	75,0	74,60	90,243	78,537	49,800
209	94,126	98,069	75,0	74,60	90,882	78,510	49,800
210	94,132	98,068	75,0	74,60	89,040	78,399	49,800
211	94,132	98,069	75,0	74,60	89,312	78,377	49,800
212	94,131	98,071	75,0	74,60	90,319	78,343	49,800
213	94,138	98,071	75,0	74,60	89,428	78,387	49,800
214	94,138	98,073	75,0	74,60	88,775	78,441	49,800
215	94,144	98,074	75,0	74,60	88,216	78,406	49,800
216	94,136	98,072	75,0	74,60	89,646	78,477	49,800

217	94,141	98,071	75,0	74,60	89,167	78,439	49,800
218	94,151	98,070	75,0	74,60	89,317	78,394	49,800
219	94,149	98,072	75,0	74,60	90,928	78,449	49,800
220	94,151	98,073	75,0	74,60	89,348	78,497	49,800
221	94,148	98,074	75,0	74,60	89,893	78,474	49,800
222	94,148	98,072	75,0	74,60	89,618	78,406	49,800
223	94,146	98,074	75,0	74,60	88,927	78,438	49,800
224	94,154	98,074	75,0	74,60	88,803	78,440	49,800
225	94,143	98,073	75,0	74,60	88,056	78,355	49,800
226	94,147	98,073	75,0	74,60	88,339	78,420	49,800
227	94,155	98,074	75,0	74,60	90,543	78,442	49,800
228	94,155	98,077	75,0	74,60	88,734	78,409	49,800
229	94,156	98,076	75,0	94,60	88,688	78,458	49,800
230	94,163	98,075	75,0	94,60	89,148	78,427	49,800
231	94,149	98,074	75,0	94,60	89,666	78,410	49,800
232	94,152	98,072	75,0	94,60	88,617	78,490	49,800
233	94,150	98,072	75,0	94,60	89,003	78,425	49,800
234	94,157	98,074	75,0	94,60	89,933	78,440	49,800
235	94,147	98,074	75,0	94,60	89,179	78,476	49,800
236	94,147	98,074	75,0	94,60	89,348	78,425	49,800
237	94,161	98,076	75,0	94,60	87,986	78,423	49,800
238	94,159	98,076	75,0	94,60	90,453	78,467	49,800
239	94,165	98,078	75,0	94,60	89,201	78,467	49,800
240	94,150	98,078	75,0	94,60	88,738	78,357	49,800
241	94,150	98,075	75,0	94,60	88,152	78,384	49,800
242	94,158	98,075	75,0	94,60	88,373	78,444	49,800
243	94,161	98,075	75,0	94,60	89,972	78,487	49,800
244	94,169	98,074	75,0	94,60	89,909	78,307	49,800
245	94,158	98,076	75,0	94,60	89,021	78,426	49,800
246	94,155	98,075	75,0	94,60	90,587	78,433	49,800
247	94,153	98,075	75,0	94,60	89,201	78,554	49,800
248	94,153	98,074	75,0	94,60	90,000	78,454	49,800
249	94,159	98,072	75,0	94,60	89,083	78,530	49,800
250	94,164	98,073	75,0	94,60	88,989	78,335	49,800
251	94,158	98,071	75,0	94,60	88,147	78,427	49,800
252	94,165	98,072	75,0	94,60	89,092	78,404	49,800
253	94,161	98,073	75,0	94,60	90,710	78,500	49,800
254	94,162	98,072	75,0	94,60	89,392	78,523	49,800
255	94,160	98,072	75,0	94,60	89,457	78,419	49,800
256	94,167	98,073	75,0	94,60	90,859	78,534	49,800
257	94,171	98,075	75,0	94,60	89,088	78,407	49,800
258	94,171	98,072	75,0	94,60	90,010	78,394	49,800
259	94,162	98,073	75,0	94,60	88,497	78,425	49,800
260	94,150	98,071	75,0	94,60	88,748	78,414	49,800
261	94,151	98,073	75,0	94,60	88,781	78,414	49,800
262	94,159	98,069	75,0	94,60	89,919	78,504	49,800
263	94,155	98,070	75,0	94,60	89,301	78,504	49,800
264	94,166	98,073	75,0	94,60	90,102	78,334	49,800
265	94,162	98,073	75,0	74,60	88,621	78,462	49,800
266	94,162	98,071	75,0	74,60	88,208	78,474	49,800
267	94,162	98,071	75,0	74,60	88,768	78,459	49,800
268	94,154	98,070	75,0	74,60	87,666	78,475	49,800
269	94,164	98,070	75,0	74,60	90,305	78,436	49,800
270	94,151	98,071	75,0	74,60	89,170	78,528	49,800
271	94,168	98,072	75,0	74,60	89,452	78,393	49,800
272	94,163	98,071	75,0	74,60	90,303	78,552	49,800

273	94,163	98,071	75,0	74,60	90,162	78,552	49,800
274	94,152	98,072	75,0	74,60	90,151	78,448	49,800
275	94,163	98,072	75,0	74,60	89,052	78,513	49,800
276	94,158	98,072	75,0	74,60	88,991	78,487	49,800
277	94,151	98,069	75,0	74,60	89,083	78,405	49,800
278	94,151	98,070	75,0	74,60	90,124	78,536	49,800
279	94,160	98,069	75,0	74,60	89,201	78,476	49,800
280	94,169	98,070	75,0	74,60	89,201	78,453	49,800
281	94,164	98,070	75,0	74,60	89,222	78,399	49,800
282	94,160	98,068	75,0	94,60	89,288	78,571	49,800
283	94,156	98,071	75,0	94,60	89,705	78,437	49,800
284	94,157	98,070	75,0	94,60	88,793	78,520	49,800
285	94,154	98,067	75,0	94,60	89,087	78,406	49,800
286	94,166	98,067	75,0	94,60	89,022	78,518	49,800
287	94,166	98,069	75,0	94,60	89,686	78,423	49,800
288	94,157	98,071	75,0	94,60	90,323	78,402	49,800
289	94,157	98,068	75,0	94,60	89,676	78,419	49,800
290	94,160	98,069	75,0	94,60	89,728	78,483	49,800
291	94,161	98,070	75,0	74,60	89,536	78,394	49,800
292	94,161	98,067	75,0	74,60	88,843	78,403	49,800
293	94,160	98,068	75,0	74,60	89,398	78,493	49,800
294	94,161	98,068	75,0	74,60	88,729	78,433	49,800
295	94,152	98,068	75,0	74,60	89,679	78,470	49,800
296	94,150	98,067	75,0	74,60	88,568	78,503	49,800
297	94,152	98,068	75,0	74,60	89,523	78,399	49,800
298	94,165	98,066	75,0	74,60	88,537	78,426	49,800
299	94,165	98,069	75,0	74,60	89,820	78,414	49,800
300	94,151	98,071	75,0	74,60	90,417	78,403	49,800
301	94,142	98,070	75,0	74,60	89,709	78,403	49,800
302	94,142	98,065	75,0	74,60	88,385	78,498	49,800
303	94,154	98,067	75,0	74,60	89,499	78,487	49,800
304	94,152	98,068	75,0	74,60	89,023	78,329	49,800
305	94,156	98,069	75,0	74,60	89,084	78,488	49,800
306	94,151	98,069	75,0	74,60	88,741	78,418	49,800
307	94,155	98,071	75,0	74,60	89,113	78,399	49,800
308	94,155	98,068	75,0	74,60	88,129	78,416	49,800
309	94,162	98,070	75,0	74,60	89,684	78,465	49,800
310	94,162	98,068	75,0	74,60	87,844	78,491	49,800
311	94,158	98,071	75,0	74,60	88,708	78,396	49,800
312	94,157	98,071	75,0	74,60	89,725	78,451	49,800
313	94,157	98,069	75,0	74,60	88,745	78,413	49,800
314	94,154	98,069	75,0	74,60	89,002	78,487	49,800
315	94,153	98,069	75,0	74,60	90,252	78,507	49,800
316	94,153	98,069	75,0	74,60	90,004	78,439	49,800
317	94,156	98,069	75,0	74,60	90,632	78,421	49,800
318	94,159	98,068	75,0	74,60	90,266	78,371	49,800
319	94,155	98,068	75,0	74,60	87,884	78,477	49,800
320	94,151	98,069	75,0	74,60	88,820	78,445	49,800
321	94,153	98,072	75,0	74,60	88,846	78,392	49,800
322	94,159	98,068	75,0	74,60	89,722	78,406	49,800
323	94,154	98,068	75,0	74,60	90,058	78,497	49,800
324	94,154	98,067	75,0	74,60	89,972	78,419	49,800
325	94,160	98,069	75,0	74,60	88,814	78,378	49,800
326	94,160	98,070	75,0	74,60	90,078	78,531	49,800
327	94,159	98,070	75,0	74,60	89,777	78,435	49,800
328	94,163	98,069	75,0	74,60	88,768	78,408	49,800

329	94,156	98,070	75,0	74,60	90,037	78,420	49,800
330	94,155	98,069	75,0	74,60	89,359	78,400	49,800
331	94,147	98,071	75,0	74,60	88,989	78,264	49,800
332	94,158	98,068	75,0	74,60	89,639	78,431	49,800
333	94,152	98,068	75,0	74,60	89,475	78,428	49,800
334	94,144	98,069	75,0	74,60	88,227	78,340	49,800
335	94,144	98,068	75,0	74,60	90,507	78,387	49,800
336	94,157	98,068	75,0	74,60	89,791	78,430	49,800
337	94,157	98,070	75,0	74,60	88,863	78,415	49,800
338	94,167	98,070	75,0	74,60	89,246	78,370	49,800
339	94,158	98,071	75,0	74,60	89,872	78,421	49,800
340	94,156	98,070	75,0	74,60	88,257	78,407	49,800
341	94,153	98,067	75,0	74,60	88,733	78,421	49,800
342	94,153	98,067	75,0	74,60	89,511	78,422	49,800
343	94,164	98,066	75,0	74,60	88,507	78,442	49,800
344	94,162	98,070	75,0	74,60	88,874	78,370	49,800
345	94,157	98,069	75,0	74,60	88,807	78,460	49,800
346	94,152	98,068	75,0	74,60	88,866	78,405	49,800
347	94,153	98,069	75,0	74,60	90,818	78,475	49,800
348	94,155	98,068	75,0	74,60	90,818	78,465	49,800
349	94,147	98,067	75,0	74,60	89,642	78,481	49,800
350	94,167	98,068	75,0	74,60	89,566	78,498	49,800
351	94,155	98,069	75,0	74,60	88,673	78,380	49,800
352	94,153	98,067	75,0	74,60	89,186	78,407	49,800
353	94,157	98,069	75,0	74,60	89,037	78,420	49,800
354	94,157	98,067	75,0	74,60	89,168	78,401	49,800
355	94,163	98,068	75,0	74,60	90,001	78,424	49,800
356	94,163	98,069	75,0	74,60	91,185	78,334	49,800
357	94,168	98,069	75,0	74,60	89,163	78,333	49,800
358	94,161	98,069	75,0	74,60	89,780	78,509	49,800
359	94,161	98,068	75,0	74,60	90,903	78,319	49,800
360	94,156	98,068	75,0	74,60	90,174	78,407	49,800
361	94,166	98,066	75,0	74,60	90,095	78,439	49,800
362	94,164	98,068	75,0	94,60	88,835	78,449	49,800
363	94,164	98,067	75,0	94,60	89,186	78,450	49,800
364	94,153	98,066	75,0	94,60	88,873	78,481	49,800
365	94,158	98,067	75,0	94,60	88,459	78,478	49,800
366	94,153	98,065	75,0	94,60	88,391	78,483	49,800
367	94,153	98,068	75,0	94,60	88,748	78,394	49,800
368	94,161	98,069	75,0	94,60	88,972	78,416	49,800
369	94,159	98,069	75,0	94,60	89,037	78,455	49,800
370	94,151	98,068	75,0	94,60	89,157	78,433	49,800
371	94,151	98,064	75,0	94,60	89,177	78,463	49,800
372	94,167	98,066	75,0	94,60	89,329	78,431	49,800
373	94,162	98,065	75,0	94,60	88,017	78,437	49,800
374	94,157	98,066	75,0	94,60	90,192	78,406	49,800
375	94,145	98,067	75,0	94,60	89,816	78,414	49,800
376	94,160	98,064	75,0	94,60	89,778	78,492	49,800
377	94,167	98,068	75,0	94,60	89,130	78,402	49,800
378	94,156	98,067	75,0	94,60	88,986	78,443	49,800
379	94,152	98,068	75,0	94,60	87,696	78,436	49,800
380	94,147	98,065	75,0	94,60	89,470	78,401	49,800
381	94,155	98,064	75,0	94,60	89,502	78,379	49,800
382	94,155	98,064	75,0	94,60	89,363	78,401	49,800
383	94,160	98,067	75,0	94,60	89,079	78,334	49,800
384	94,163	98,065	75,0	94,60	88,465	78,449	49,800

385	94,166	98,066	75,0	94,60	87,359	78,435	49,800
386	94,163	98,069	75,0	94,60	89,034	78,384	49,800
387	94,162	98,066	75,0	94,60	89,662	78,459	49,800
388	94,158	98,062	75,0	94,60	89,663	78,370	49,800
389	94,152	98,061	75,0	94,60	89,619	78,412	49,800
390	94,152	98,059	75,0	94,60	88,755	78,381	49,800
391	94,167	98,060	75,0	94,60	88,725	78,457	49,800
392	94,162	98,063	75,0	94,60	88,840	78,370	49,800
393	94,146	98,065	75,0	94,60	90,450	78,321	49,800
394	94,153	98,063	75,0	94,60	88,666	78,412	49,800
395	94,154	98,062	75,0	94,60	89,151	78,343	49,800
396	94,145	98,063	75,0	94,60	89,501	78,415	49,800
397	94,145	98,064	75,0	94,60	88,302	78,471	49,800
398	94,160	98,064	75,0	74,60	89,093	78,367	49,800
399	94,160	98,063	75,0	74,60	88,584	78,425	49,800
400	94,153	98,067	75,0	74,60	88,790	78,442	49,800
401	94,154	98,066	75,0	74,60	88,538	78,404	49,800
402	94,154	98,064	75,0	74,60	89,432	78,443	49,800
403	94,154	98,065	75,0	74,60	88,707	78,413	49,800
404	94,156	98,067	75,0	74,60	88,787	78,407	49,800
405	94,155	98,065	75,0	74,60	89,535	78,477	49,800
406	94,154	98,065	75,0	74,60	87,408	78,378	49,800
407	94,163	98,063	75,0	74,60	88,761	78,421	49,800
408	94,156	98,065	75,0	74,60	88,066	78,380	49,800
409	94,161	98,067	75,0	74,60	88,632	78,370	49,800
410	94,150	98,062	75,0	74,60	89,576	78,428	49,800
411	94,161	98,064	75,0	74,60	89,083	78,410	49,800
412	94,151	98,063	75,0	74,60	89,274	78,464	49,800
413	94,151	98,065	75,0	74,60	90,135	78,397	49,800
414	94,143	98,065	75,0	74,60	89,487	78,434	49,800
415	94,165	98,062	75,0	94,60	88,563	78,322	49,800
416	94,162	98,065	75,0	94,60	89,332	78,356	49,800
417	94,167	98,066	75,0	94,60	90,299	78,363	49,800
418	94,165	98,067	75,0	94,60	90,008	78,454	49,800
419	94,152	98,064	75,0	94,60	89,763	78,456	49,800
420	94,150	98,063	75,0	94,60	88,768	78,385	49,800
421	94,155	98,061	75,0	94,60	88,729	78,311	49,800
422	94,155	98,063	75,0	94,60	89,286	78,352	49,800
423	94,159	98,064	75,0	94,60	90,221	78,385	49,800
424	94,158	98,064	75,0	74,60	89,595	78,425	49,800
425	94,149	98,063	75,0	74,60	89,205	78,467	49,800
426	94,149	98,062	75,0	74,60	89,147	78,325	49,800
427	94,144	98,061	75,0	74,60	88,763	78,396	49,800
428	94,151	98,063	75,0	74,60	89,085	78,258	49,800
429	94,161	98,063	75,0	74,60	89,028	78,347	49,800
430	94,158	98,065	75,0	74,60	89,347	78,319	49,800
431	94,157	98,067	75,0	74,60	88,097	78,384	49,800
432	94,157	98,067	75,0	74,60	89,722	78,301	49,800
433	94,156	98,065	75,0	74,60	88,773	78,306	49,800
434	94,150	98,065	75,0	74,60	89,960	78,397	49,800
435	94,149	98,065	75,0	74,60	89,610	78,409	49,800
436	94,151	98,067	75,0	74,60	89,528	78,364	49,800
437	94,152	98,064	75,0	74,60	89,770	78,304	49,800
438	94,156	98,065	75,0	74,60	89,138	78,340	49,800
439	94,158	98,068	75,0	74,60	90,038	78,428	49,800
440	94,164	98,067	75,0	74,60	89,114	78,436	49,800

441	94,150	98,068	75,0	74,60	90,191	78,372	49,800
442	94,150	98,068	75,0	74,60	88,548	78,343	49,800
443	94,147	98,068	75,0	74,60	89,156	78,329	49,800
444	94,147	98,065	75,0	74,60	88,326	78,349	49,800
445	94,154	98,066	75,0	74,60	89,918	78,369	49,800
446	94,153	98,067	75,0	74,60	89,660	78,359	49,800
447	94,157	98,068	75,0	74,60	89,486	78,374	49,800
448	94,156	98,067	75,0	74,60	89,170	78,306	49,800
449	94,157	98,067	75,0	74,60	89,524	78,467	49,800
450	94,159	98,069	75,0	74,60	90,106	78,296	49,800
451	94,155	98,069	75,0	74,60	89,668	78,335	49,800
452	94,155	98,065	75,0	74,60	88,816	78,372	49,800
453	94,162	98,066	75,0	74,60	89,635	78,365	49,800
454	94,163	98,067	75,0	74,60	88,392	78,368	49,800
455	94,160	98,067	75,0	74,60	89,488	78,344	49,800
456	94,160	98,067	75,0	74,60	89,944	78,390	49,800
457	94,161	98,066	75,0	74,60	88,747	78,331	49,800
458	94,151	98,067	75,0	74,60	89,205	78,327	49,800
459	94,152	98,065	75,0	94,60	88,173	78,436	49,800
460	94,159	98,068	75,0	94,60	88,861	78,358	49,800
461	94,162	98,067	75,0	94,60	87,416	78,368	49,800
462	94,162	98,066	75,0	94,60	89,929	78,359	49,800
463	94,161	98,065	75,0	94,60	90,002	78,401	49,800
464	94,141	98,065	75,0	94,60	90,702	78,423	49,800
465	94,149	98,065	75,0	94,60	89,029	78,339	49,800
466	94,145	98,064	75,0	94,60	90,121	78,359	49,800
467	94,145	98,064	75,0	94,60	88,827	78,382	49,800
468	94,152	98,065	75,0	94,60	87,978	78,370	49,800
469	94,163	98,067	75,0	94,60	88,876	78,348	49,800
470	94,168	98,068	75,0	94,60	88,972	78,370	49,800
471	94,159	98,069	75,0	94,60	89,005	78,380	49,800
472	94,141	98,066	75,0	94,60	87,534	78,473	49,800
473	94,141	98,067	75,0	94,60	87,773	78,392	49,800
474	94,153	98,065	75,0	94,60	88,284	78,292	49,800
475	94,163	98,063	75,0	94,60	88,579	78,387	49,800
476	94,171	98,065	75,0	94,60	88,931	78,406	49,800
477	94,160	98,068	75,0	74,60	89,332	78,502	49,800
478	94,162	98,069	75,0	74,60	89,361	78,351	49,800
479	94,158	98,066	75,0	74,60	90,028	78,393	49,800
480	94,150	98,066	75,0	74,60	89,286	78,393	49,800
481	94,152	98,065	75,0	74,60	89,742	78,433	49,800
482	94,152	98,065	75,0	74,60	90,512	78,432	49,800
483	94,152	98,066	75,0	74,60	89,786	78,316	49,800
484	94,155	98,067	75,0	74,60	88,902	78,316	49,800
485	94,160	98,066	75,0	94,60	88,594	78,467	49,800
486	94,159	98,067	75,0	94,60	89,309	78,327	49,800
487	94,157	98,068	75,0	94,60	89,512	78,252	49,800
488	94,155	98,065	75,0	94,60	88,975	78,384	49,800
489	94,154	98,066	75,0	94,60	89,131	78,335	49,800
490	94,163	98,067	75,0	94,60	89,209	78,322	49,800
491	94,153	98,067	75,0	94,60	90,505	78,419	49,800
492	94,158	98,067	75,0	94,60	89,514	78,415	49,800
493	94,151	98,066	75,0	94,60	89,341	78,359	49,800
494	94,148	98,064	75,0	94,60	89,848	78,462	49,800
495	94,155	98,065	75,0	94,60	89,956	78,299	49,800
496	94,151	98,068	75,0	94,60	88,028	78,413	49,800

497	94,155	98,070	75,0	94,60	89,329	78,328	49,800
498	94,159	98,070	75,0	94,60	89,327	78,409	49,800
499	94,154	98,069	75,0	94,60	89,526	78,389	49,800
500	94,152	98,068	75,0	94,60	89,585	78,416	49,800
501	94,150	98,068	75,0	94,60	89,531	78,384	49,800
502	94,169	98,068	75,0	94,60	88,286	78,342	49,800
503	94,169	98,067	75,0	74,60	90,037	78,350	49,800
504	94,156	98,070	75,0	74,60	88,607	78,470	49,800
505	94,156	98,068	75,0	74,60	88,778	78,347	49,800
506	94,158	98,067	75,0	74,60	87,577	78,379	49,800
507	94,158	98,065	75,0	74,60	90,596	78,361	49,800
508	94,152	98,067	75,0	74,60	87,365	78,446	49,800
509	94,160	98,067	75,0	74,60	89,596	78,342	49,800
510	94,166	98,066	75,0	74,60	89,533	78,465	49,800
511	94,160	98,065	75,0	84,60	89,781	78,368	49,800
512	94,156	98,066	75,0	84,60	89,060	78,402	49,800
513	94,148	98,063	75,0	84,60	89,776	78,423	49,800
514	94,152	98,063	75,0	84,60	88,788	78,389	49,800
515	94,158	98,064	75,0	84,60	89,104	78,423	49,800
516	94,159	98,064	75,0	84,60	89,295	78,324	49,800
517	94,166	98,068	75,0	84,60	87,514	78,329	49,800
518	94,166	98,066	75,0	84,60	89,073	78,361	49,800
519	94,160	98,068	75,0	84,60	89,988	78,292	49,800
520	94,150	98,065	75,0	84,60	89,411	78,484	49,800
521	94,146	98,064	75,0	84,60	88,928	78,350	49,800
522	94,154	98,062	75,0	84,60	88,911	78,321	49,800
523	94,159	98,062	75,0	84,60	88,397	78,424	49,800
524	94,160	98,066	75,0	84,60	88,679	78,315	49,800
525	94,151	98,068	75,0	84,60	88,150	78,560	49,800
526	94,144	98,064	75,0	84,60	90,232	78,560	49,800
527	94,151	98,064	75,0	84,60	87,717	78,407	49,800
528	94,151	98,063	75,0	84,60	90,142	78,428	49,800
529	94,159	98,066	75,0	84,60	89,891	78,368	49,800
530	94,155	98,068	75,0	84,60	88,262	78,355	49,800
531	94,154	98,066	75,0	84,60	89,571	78,398	49,800
532	94,158	98,066	75,0	84,60	89,819	78,465	49,800
533	94,163	98,066	75,0	84,60	89,033	78,451	49,800
534	94,161	98,068	75,0	84,60	88,192	78,298	49,800
535	94,168	98,066	75,0	84,60	89,283	78,408	49,800
536	94,158	98,066	75,0	84,60	88,791	78,385	49,800
537	94,157	98,064	75,0	84,60	87,661	78,437	49,800
538	94,156	98,066	75,0	84,60	89,598	78,443	49,800
539	94,159	98,065	75,0	84,60	90,388	78,328	49,800
540	94,160	98,064	75,0	84,60	90,846	78,352	49,800
541	94,154	98,065	75,0	84,60	90,093	78,321	49,800
542	94,159	98,065	75,0	84,60	89,621	78,331	49,800
543	94,153	98,063	75,0	84,60	88,873	78,477	49,800
544	94,161	98,063	75,0	84,60	89,484	78,352	49,800
545	94,156	98,065	75,0	84,60	90,224	78,462	49,800
546	94,163	98,063	75,0	84,60	89,439	78,404	49,800
547	94,152	98,064	75,0	84,60	88,654	78,402	49,800
548	94,149	98,064	75,0	84,60	88,359	78,448	49,800
549	94,154	98,063	75,0	84,60	90,431	78,373	49,800
550	94,160	98,061	75,0	84,60	88,543	78,334	49,800
551	94,163	98,065	75,0	84,60	89,699	78,405	49,800
552	94,164	98,066	75,0	84,60	89,312	78,422	49,800

553	94,156	98,064	75,0	84,60	89,630	78,387	49,800
554	94,160	98,064	75,0	84,60	89,752	78,436	49,800
555	94,157	98,061	75,0	84,60	89,429	78,391	49,800
556	94,145	98,063	75,0	84,60	89,285	78,425	49,800
557	94,150	98,062	75,0	84,60	88,924	78,317	49,800
558	94,148	98,060	75,0	84,60	89,410	78,378	49,800

Tabla 4.1 Datos de la Planta para el controlador MPC por Presión de descarga

Datos_MPC_FLUJO

	Flujo (BPH)	Velocidad Media (RPM)	Presión de Descarga (psi)	Temp. °F	Viscosidad	MNPLT1 (%)	Presión de Succión (psi)	Número de Máquinas	Densidad Estándar (°API)
1	12732,18	1000,32	1400,04	91,30	41,99	84,25	116,79	5,00	25,79
2	12922,68	1000,33	1399,98	91,25	42,21	84,25	116,71	5,00	25,74
3	13004,19	1000,33	1399,98	91,25	46,01	84,25	116,71	5,00	25,74
4	12924,55	1000,30	1400,03	91,25	45,33	84,25	116,80	5,00	25,74
5	13112,86	1000,28	1400,03	91,25	46,48	84,25	116,80	5,00	25,74
6	12871,35	1000,30	1400,11	91,25	46,63	84,25	116,85	5,00	25,74
7	12999,98	1000,31	1400,11	91,30	44,30	84,25	116,85	5,00	25,79
8	12999,98	1000,33	1399,95	91,30	44,73	84,25	116,82	5,00	25,79
9	12952,81	1000,33	1399,95	91,30	43,44	84,25	116,82	5,00	25,79
10	12808,12	1000,31	1400,06	91,30	43,44	84,25	116,89	5,00	25,79
11	12860,45	1000,30	1400,06	91,30	45,19	84,25	116,89	5,00	25,79
12	12810,63	1000,31	1400,14	91,36	45,70	84,25	116,83	5,00	25,78
13	12708,25	1000,30	1400,14	91,36	43,83	84,25	116,83	5,00	25,78
14	12771,47	1000,32	1399,83	91,36	44,00	84,25	116,87	5,00	25,78
15	12897,35	1000,32	1399,83	91,36	45,59	84,25	116,87	5,00	25,78
16	13005,43	1000,34	1399,83	91,36	46,03	84,25	116,92	5,00	25,78
17	12800,82	1000,32	1399,83	91,29	44,80	94,25	116,92	5,00	25,78
18	12958,78	1000,31	1399,80	91,29	44,17	94,25	116,91	5,00	25,78
19	12972,32	1000,32	1399,80	91,29	43,91	94,25	116,91	5,00	25,78
20	12945,59	1000,34	1399,82	91,29	43,37	94,25	116,83	5,00	25,78
21	12820,81	1000,35	1399,82	91,29	42,87	94,25	116,83	5,00	25,78
22	12961,63	1000,35	1399,77	91,25	42,95	94,25	116,80	5,00	25,78
23	12870,97	1000,35	1399,77	91,25	44,58	94,25	116,80	5,00	25,78
24	12863,58	1000,35	1399,82	91,25	44,10	94,25	116,86	5,00	25,78
25	12858,32	1000,35	1399,82	91,25	45,15	94,25	116,86	5,00	25,78
26	12826,97	1000,35	1399,85	91,25	45,18	94,25	116,80	5,00	25,78
27	12868,72	1000,34	1399,85	91,27	44,07	94,25	116,80	5,00	25,79
28	12776,13	1000,33	1399,87	91,27	44,98	94,25	116,78	5,00	25,79
29	12854,32	1000,34	1399,87	91,27	45,87	94,25	116,78	5,00	25,79
30	12729,40	1000,35	1400,00	91,27	46,61	94,25	116,85	5,00	25,79
31	12924,42	1000,36	1400,00	91,27	46,78	94,25	116,85	5,00	25,79
32	12852,18	1000,36	1399,99	91,26	47,24	94,25	116,80	5,00	25,81
33	12832,24	1000,36	1399,99	91,26	44,91	94,25	116,80	5,00	25,81
34	12857,95	1000,38	1400,06	91,26	45,16	94,25	116,89	5,00	25,81
35	12756,20	1000,39	1400,06	91,26	45,71	94,25	116,89	5,00	25,81
36	12719,40	1000,38	1399,85	91,26	45,62	94,25	116,73	5,00	25,81
37	12880,10	1000,38	1399,85	91,34	44,47	94,25	116,73	5,00	25,79
38	13064,99	1000,38	1399,86	91,34	44,06	94,25	116,74	5,00	25,79
39	12908,21	1000,35	1399,86	91,34	46,34	94,25	116,74	5,00	25,79
40	12973,56	1000,35	1399,92	91,34	45,42	94,25	116,83	5,00	25,79
41	12843,54	1000,37	1399,92	91,34	45,92	94,25	116,83	5,00	25,79
42	12796,17	1000,37	1400,06	91,35	45,69	94,25	116,77	5,00	25,80
43	13168,15	1000,39	1400,06	91,35	44,89	94,25	116,77	5,00	25,80
44	12853,31	1000,40	1399,98	91,35	45,06	94,25	116,72	5,00	25,80
45	12853,31	1000,40	1399,98	91,35	44,69	94,25	116,72	5,00	25,80
46	12945,47	1000,39	1399,91	91,35	45,79	94,25	116,91	5,00	25,80
47	12945,47	1000,38	1399,91	91,36	46,60	94,25	116,91	5,00	25,77

48	13136,55	1000,39	1399,86	91,36	46,01	94,25	116,87	5,00	25,77
49	13055,49	1000,39	1399,86	91,36	42,51	94,25	116,87	5,00	25,77
50	13032,40	1000,39	1399,92	91,36	42,80	94,25	116,94	5,00	25,77
51	13086,30	1000,37	1399,92	91,36	43,90	94,25	116,94	5,00	25,77
52	13037,96	1000,38	1399,94	91,34	43,98	94,25	116,74	5,00	25,79
53	12835,88	1000,37	1399,94	91,34	42,41	94,25	116,74	5,00	25,79
54	12854,19	1000,40	1399,91	91,34	42,56	94,25	116,72	5,00	25,79
55	12999,85	1000,37	1399,91	91,34	46,79	94,25	116,72	5,00	25,79
56	12903,84	1000,38	1400,10	91,34	46,72	94,25	116,88	5,00	25,79
57	13024,98	1000,39	1400,10	91,29	46,61	94,25	116,88	5,00	25,78
58	12843,16	1000,39	1400,02	91,29	46,56	94,25	116,87	5,00	25,78
59	12865,34	1000,40	1400,02	91,29	43,13	94,25	116,87	5,00	25,78
60	13067,09	1000,39	1400,10	91,29	44,54	94,25	117,04	5,00	25,78
61	12766,04	1000,37	1400,10	91,29	44,68	94,25	117,04	5,00	25,78
62	12962,75	1000,38	1400,07	91,29	43,99	94,25	116,95	5,00	25,77
63	13164,35	1000,38	1400,07	91,29	42,97	94,25	116,95	5,00	25,77
64	12977,78	1000,37	1400,02	91,29	42,32	94,25	116,80	5,00	25,77
65	12939,99	1000,36	1400,02	91,29	42,60	94,25	116,80	5,00	25,77
66	12801,70	1000,34	1399,94	91,29	43,21	94,25	116,79	5,00	25,77
67	12701,15	1000,35	1399,94	91,29	46,36	94,25	116,79	5,00	25,79
68	12819,18	1000,34	1400,00	91,29	46,86	94,25	116,82	5,00	25,79
69	13002,08	1000,33	1400,00	91,29	47,36	94,25	116,82	5,00	25,79
70	12701,78	1000,34	1399,88	91,29	45,85	94,25	116,83	5,00	25,79
71	12702,93	1000,36	1399,88	91,29	44,76	94,25	116,83	5,00	25,79
72	12810,88	1000,36	1399,85	91,24	45,28	94,25	116,72	5,00	25,78
73	12966,11	1000,38	1399,85	91,24	44,99	94,25	116,72	5,00	25,78
74	12949,08	1000,37	1399,95	91,24	44,62	94,25	116,71	5,00	25,78
75	12786,72	1000,37	1400,03	91,24	45,90	94,25	116,72	5,00	25,78
76	12860,83	1000,37	1400,03	91,24	45,96	94,25	116,72	5,00	25,78
77	12715,22	1000,37	1400,03	91,28	47,58	94,25	116,72	5,00	25,81
78	13101,92	1000,41	1400,04	91,28	47,11	94,25	116,73	5,00	25,81
79	12990,18	1000,42	1400,04	91,28	47,64	94,25	116,73	5,00	25,81
80	12990,18	1000,42	1400,10	91,28	45,59	94,25	116,76	5,00	25,81
81	12979,76	1000,40	1400,10	91,28	45,95	94,25	116,76	5,00	25,81
82	12907,34	1000,37	1400,11	91,40	45,82	94,25	116,83	5,00	25,80
83	12871,22	1000,38	1400,11	91,40	45,28	94,25	116,83	5,00	25,80
84	12790,25	1000,38	1400,05	91,40	46,33	94,25	116,73	5,00	25,80
85	12858,95	1000,36	1400,05	91,40	45,13	94,25	116,73	5,00	25,80
86	12821,19	1000,38	1400,13	91,40	45,42	94,25	116,82	5,00	25,80
87	12799,81	1000,37	1400,13	91,31	47,09	94,25	116,82	5,00	25,80
88	12933,64	1000,37	1399,92	91,31	47,23	94,25	116,81	5,00	25,80
89	12967,35	1000,36	1399,92	91,31	44,81	94,25	116,81	5,00	25,80
90	13074,48	1000,38	1399,96	91,31	44,35	94,25	116,96	5,00	25,80
91	12935,88	1000,35	1400,05	91,38	44,37	94,25	116,80	5,00	25,79
92	12978,52	1000,36	1400,05	91,38	45,31	94,25	116,80	5,00	25,79
93	12881,48	1000,34	1400,01	91,38	43,03	94,25	116,88	5,00	25,79
94	12615,64	1000,37	1400,01	91,38	45,98	94,25	116,88	5,00	25,79
95	12845,92	1000,37	1400,01	91,38	46,32	94,25	116,88	5,00	25,79
96	13026,96	1000,39	1399,99	91,38	44,99	94,25	116,87	5,00	25,79
97	12782,43	1000,40	1399,99	91,25	44,18	94,25	116,87	5,00	25,78
98	12915,82	1000,38	1400,10	91,25	43,57	94,25	116,94	5,00	25,78
99	13035,99	1000,34	1400,10	91,25	43,87	94,25	116,94	5,00	25,78
100	12836,63	1000,37	1400,03	91,25	43,41	94,25	116,82	5,00	25,78
101	12751,65	1000,37	1400,03	91,25	42,37	94,25	116,82	5,00	25,78
102	12781,05	1000,36	1400,19	91,36	43,03	94,25	116,84	5,00	25,80
103	12910,71	1000,35	1400,19	91,36	45,57	94,25	116,84	5,00	25,80
104	12913,20	1000,38	1400,03	91,36	46,13	94,25	116,88	5,00	25,80

105	12928,91	1000,37	1400,03	91,36	45,37	94,25	116,88	5,00	25,80
106	12875,60	1000,34	1400,00	91,36	46,15	94,25	116,84	5,00	25,80
107	12837,39	1000,34	1400,00	91,29	45,32	94,25	116,84	5,00	25,76
108	12876,23	1000,34	1399,99	91,29	45,50	94,25	116,67	5,00	25,76
109	12789,24	1000,34	1399,99	91,29	45,52	94,25	116,67	5,00	25,76
110	12976,54	1000,34	1400,06	91,29	45,39	94,25	116,95	5,00	25,76
111	12974,43	1000,35	1400,06	91,29	48,78	94,25	116,95	5,00	25,76
112	12909,46	1000,36	1400,05	91,31	48,08	94,25	116,82	5,00	25,79
113	12853,19	1000,34	1400,05	91,31	42,95	94,25	116,82	5,00	25,79
114	12900,97	1000,32	1400,10	91,31	42,77	94,25	116,83	5,00	25,79
115	12887,98	1000,35	1400,10	91,31	45,43	94,25	116,83	5,00	25,79
116	12964,62	1000,34	1400,10	91,31	45,00	94,25	116,93	5,00	25,79
117	12964,62	1000,34	1400,10	91,30	44,75	94,25	116,93	5,00	25,78
118	12991,05	1000,34	1399,92	91,30	45,27	94,25	116,78	5,00	25,78
119	13071,89	1000,32	1399,92	91,30	43,45	94,25	116,78	5,00	25,78
120	13071,89	1000,33	1400,13	91,30	43,37	94,25	116,78	5,00	25,78
121	13003,57	1000,33	1400,13	91,30	45,50	94,25	116,78	5,00	25,78
122	12908,83	1000,35	1400,16	91,28	45,50	94,25	116,89	5,00	25,81
123	12733,95	1000,35	1400,16	91,28	45,27	94,25	116,89	5,00	25,81
124	12707,49	1000,35	1400,10	91,28	45,60	94,25	116,84	5,00	25,81
125	12891,60	1000,35	1400,10	91,28	44,11	94,25	116,84	5,00	25,81
126	12993,28	1000,35	1400,19	91,28	43,66	94,25	116,91	5,00	25,81
127	12919,06	1000,33	1400,19	91,32	43,97	94,25	116,91	5,00	25,79
128	12696,46	1000,33	1399,97	91,32	44,01	94,25	116,81	5,00	25,79
129	12741,92	1000,33	1399,97	91,32	43,08	94,25	116,81	5,00	25,79
130	12935,88	1000,33	1399,93	91,32	43,84	94,25	116,88	5,00	25,79
131	12837,89	1000,31	1399,93	91,32	46,16	94,25	116,88	5,00	25,79
132	12638,09	1000,30	1400,11	91,21	45,47	94,25	116,86	5,00	25,78
133	12889,61	1000,31	1400,11	91,21	44,21	94,25	116,86	5,00	25,78
134	13042,53	1000,32	1400,13	91,21	44,91	94,25	116,93	5,00	25,78
135	12969,46	1000,33	1400,13	91,21	44,44	94,25	116,93	5,00	25,78
136	13075,96	1000,34	1400,07	91,21	44,57	94,25	116,83	5,00	25,78
137	13011,62	1000,34	1400,07	91,25	43,56	94,25	116,83	5,00	25,79
138	13027,83	1000,33	1400,01	91,25	43,34	94,25	116,86	5,00	25,79
139	13161,42	1000,31	1400,01	91,25	45,40	94,25	116,86	5,00	25,79
140	12994,77	1000,30	1400,01	91,25	45,35	94,25	116,84	5,00	25,79
141	12861,45	1000,33	1400,01	91,25	43,32	94,25	116,84	5,00	25,79
142	12807,74	1000,33	1399,94	91,29	43,88	94,25	116,88	5,00	25,79
143	12676,91	1000,32	1399,94	91,29	43,84	94,25	116,88	5,00	25,79
144	12835,38	1000,32	1399,94	91,29	44,03	94,25	116,77	5,00	25,79
145	12751,40	1000,33	1399,94	91,29	44,26	94,25	116,77	5,00	25,79
146	13083,96	1000,32	1399,96	91,29	43,71	94,25	116,78	5,00	25,79
147	12847,05	1000,31	1399,96	91,34	46,07	94,25	116,78	5,00	25,79
148	12963,87	1000,33	1400,03	91,34	44,90	94,25	116,83	5,00	25,79
149	12883,10	1000,31	1400,03	91,34	45,54	94,25	116,83	5,00	25,79
150	13019,17	1000,31	1400,23	91,34	45,00	94,25	116,91	5,00	25,79
151	12862,33	1000,31	1400,23	91,34	44,21	94,25	116,91	5,00	25,79
152	12862,33	1000,33	1400,10	91,34	43,75	94,25	116,81	5,00	25,77
153	13070,29	1000,33	1399,95	91,34	43,33	94,25	116,81	5,00	25,77
154	13070,29	1000,32	1399,95	91,34	43,33	94,25	116,69	5,00	25,77
155	13018,18	1000,31	1399,95	91,34	44,65	94,25	116,69	5,00	25,77
156	13003,57	1000,33	1399,87	91,34	44,65	94,25	116,71	5,00	25,77
157	13084,33	1000,32	1399,87	91,31	47,00	94,25	116,71	5,00	25,79
158	12826,59	1000,30	1399,95	91,31	46,40	94,25	116,75	5,00	25,79
159	12653,12	1000,30	1399,95	91,31	45,70	94,25	116,75	5,00	25,79
160	13096,76	1000,31	1399,98	91,31	46,09	74,25	116,87	5,00	25,79
161	13226,61	1000,32	1399,98	91,31	46,06	74,25	116,87	5,00	25,79

162	13136,18	1000,33	1399,92	91,29	44,50	74,25	116,86	5,00	25,78
163	13126,00	1000,34	1399,92	91,29	42,27	74,25	116,86	5,00	25,78
164	13019,17	1000,34	1399,98	91,29	42,57	74,25	116,86	5,00	25,78
165	13020,78	1000,32	1399,98	91,29	43,20	74,25	116,86	5,00	25,78
166	12974,18	1000,33	1399,88	91,29	43,56	74,25	116,82	5,00	25,78
167	13062,52	1000,33	1399,88	91,30	43,84	74,25	116,82	5,00	25,81
168	12963,87	1000,33	1400,08	91,30	44,00	74,25	116,90	5,00	25,81
169	12784,71	1000,30	1400,08	91,30	44,58	74,25	116,90	5,00	25,81
170	12947,96	1000,33	1400,15	91,30	44,39	74,25	116,77	5,00	25,81
171	12927,41	1000,33	1400,15	91,30	43,39	74,25	116,77	5,00	25,81
172	12795,79	1000,34	1400,09	91,34	43,50	74,25	116,76	5,00	25,79
173	13013,10	1000,36	1400,08	91,34	45,93	74,25	116,93	5,00	25,79
174	12781,30	1000,36	1400,08	91,34	46,40	74,25	116,93	5,00	25,79
175	12875,10	1000,33	1400,08	91,34	45,27	74,25	116,93	5,00	25,79
176	13078,42	1000,31	1399,99	91,34	42,92	74,25	116,84	5,00	25,79
177	12643,82	1000,31	1399,99	91,32	42,20	74,25	116,84	5,00	25,80
178	13077,93	1000,33	1399,94	91,32	41,56	74,25	116,76	5,00	25,80
179	12969,21	1000,32	1399,94	91,32	44,61	74,25	116,76	5,00	25,80
180	12989,07	1000,31	1399,96	91,32	43,78	74,25	116,86	5,00	25,80
181	13087,65	1000,32	1399,96	91,32	45,70	74,25	116,86	5,00	25,80
182	13062,65	1000,34	1399,97	91,28	46,68	74,25	116,92	5,00	25,79
183	12932,15	1000,32	1399,97	91,28	44,56	74,25	116,92	5,00	25,79
184	12807,36	1000,33	1399,97	91,28	43,60	74,25	116,83	5,00	25,79
185	12790,00	1000,33	1399,97	91,28	42,84	74,25	116,83	5,00	25,79
186	12764,66	1000,30	1399,99	91,28	43,26	74,25	116,87	5,00	25,79
187	12764,66	1000,30	1399,99	91,17	44,87	74,25	116,87	5,00	25,77
188	12715,09	1000,30	1400,05	91,17	44,96	74,25	116,89	5,00	25,77
189	12982,87	1000,31	1400,01	91,17	45,30	74,25	116,79	5,00	25,77
190	13009,14	1000,33	1400,01	91,17	45,48	74,25	116,79	5,00	25,77
191	12799,69	1000,33	1400,01	91,17	44,06	74,25	116,79	5,00	25,77
192	12905,96	1000,32	1399,88	91,21	45,68	74,25	116,73	5,00	25,78
193	12905,96	1000,32	1399,88	91,21	46,43	74,25	116,73	5,00	25,78
194	13023,74	1000,31	1399,99	91,21	46,18	74,25	116,79	5,00	25,78
195	12973,06	1000,29	1399,99	91,21	47,25	74,25	116,79	5,00	25,78
196	13029,19	1000,32	1400,13	91,21	46,82	74,25	116,91	5,00	25,78
197	12785,59	1000,33	1400,08	91,27	45,39	74,25	116,91	5,00	25,74
198	12660,12	1000,34	1400,08	91,27	45,20	74,25	116,83	5,00	25,74
199	12931,15	1000,34	1399,82	91,27	43,97	74,25	116,83	5,00	25,74
200	13065,61	1000,37	1399,82	91,27	44,41	74,25	116,87	5,00	25,74
201	12979,52	1000,35	1399,82	91,27	45,15	74,25	116,87	5,00	25,74
202	12779,41	1000,34	1399,93	91,34	44,69	74,25	116,77	5,00	25,79
203	12975,05	1000,33	1400,01	91,34	44,23	74,25	116,77	5,00	25,79
204	13052,28	1000,33	1400,01	91,34	44,79	74,25	116,89	5,00	25,79
205	13068,19	1000,33	1400,01	91,34	45,95	74,25	116,89	5,00	25,79
206	13116,42	1000,33	1399,93	91,34	44,89	74,25	116,78	5,00	25,79
207	13136,67	1000,30	1400,14	91,34	42,59	74,25	116,78	5,00	25,79
208	13152,36	1000,31	1400,14	91,34	42,43	74,25	116,74	5,00	25,79
209	13060,80	1000,31	1400,15	91,34	44,72	74,25	116,74	5,00	25,79
210	13053,39	1000,31	1400,15	91,34	44,67	74,25	116,81	5,00	25,79
211	13073,00	1000,34	1400,15	91,34	45,39	74,25	116,81	5,00	25,79
212	12953,06	1000,34	1400,12	91,31	45,42	74,25	116,79	5,00	25,80
213	12963,87	1000,32	1400,12	91,31	44,07	74,25	116,79	5,00	25,80
214	12902,59	1000,31	1400,09	91,31	43,95	74,25	116,85	5,00	25,80
215	12762,51	1000,33	1399,99	91,31	44,25	74,25	116,73	5,00	25,80
216	13151,38	1000,32	1399,99	91,31	45,39	74,25	116,73	5,00	25,80
217	12928,78	1000,30	1399,99	91,30	44,78	74,25	116,73	5,00	25,79
218	12929,28	1000,30	1400,19	91,30	45,39	74,25	116,84	5,00	25,79

219	12961,76	1000,32	1400,19	91,30	46,17	74,25	116,84	5,00	25,79
220	13045,50	1000,31	1400,03	91,30	46,17	74,25	116,81	5,00	25,79
221	12909,83	1000,32	1400,03	91,30	43,76	74,25	116,81	5,00	25,79
222	12946,46	1000,33	1400,08	91,29	43,48	74,25	116,91	5,00	25,79
223	12752,28	1000,32	1400,08	91,29	44,47	74,25	116,91	5,00	25,79
224	12752,28	1000,32	1399,95	91,29	44,35	74,25	116,76	5,00	25,79
225	12876,47	1000,32	1399,95	91,29	43,09	74,25	116,76	5,00	25,79
226	12844,66	1000,32	1399,91	91,29	44,03	74,25	116,77	5,00	25,79
227	12880,85	1000,30	1399,91	91,25	46,39	74,25	116,77	5,00	25,80
228	12839,52	1000,31	1400,08	91,25	45,84	74,25	116,80	5,00	25,80
229	12831,86	1000,30	1400,08	91,25	45,47	74,25	116,80	5,00	25,80
230	12878,48	1000,30	1400,05	91,25	45,08	74,25	117,03	5,00	25,80
231	13019,29	1000,32	1400,11	91,25	44,51	94,25	117,03	5,00	25,80
232	13026,96	1000,34	1400,11	91,34	44,35	94,25	116,77	5,00	25,80
233	13132,38	1000,32	1400,11	91,34	40,59	94,25	116,77	5,00	25,80
234	13123,79	1000,31	1400,20	91,34	40,57	94,25	116,90	5,00	25,80
235	12892,23	1000,30	1400,20	91,34	45,69	94,25	116,90	5,00	25,80
236	12856,44	1000,31	1400,28	91,34	45,72	94,25	116,89	5,00	25,80
237	12737,37	1000,33	1400,28	91,26	44,04	94,25	116,89	5,00	25,79
238	12968,96	1000,30	1399,91	91,26	44,57	94,25	116,72	5,00	25,79
239	12680,08	1000,28	1399,91	91,26	45,22	94,25	116,72	5,00	25,79
240	12883,35	1000,28	1400,19	91,26	43,48	94,25	117,02	5,00	25,79
241	12984,85	1000,27	1400,19	91,26	47,68	94,25	117,02	5,00	25,79
242	12840,27	1000,28	1400,19	91,33	46,93	94,25	117,02	5,00	25,78
243	12882,73	1000,30	1400,11	91,33	40,62	94,25	116,69	5,00	25,78
244	13008,77	1000,30	1400,11	91,33	41,08	94,25	116,69	5,00	25,78
245	13057,96	1000,32	1400,20	91,33	41,21	94,25	116,69	5,00	25,78
246	13109,67	1000,31	1400,20	91,33	46,83	94,25	116,86	5,00	25,78
247	13149,54	1000,30	1400,20	91,37	46,91	94,25	116,86	5,00	25,80
248	12852,44	1000,30	1400,12	91,37	46,73	94,25	116,68	5,00	25,80
249	12619,34	1000,30	1400,12	91,37	43,56	94,25	116,68	5,00	25,80
250	12645,35	1000,30	1400,00	91,37	44,57	94,25	116,88	5,00	25,80
251	12875,10	1000,29	1400,00	91,37	48,63	94,25	116,88	5,00	25,80
252	13000,97	1000,31	1400,00	91,30	47,45	94,25	116,92	5,00	25,78
253	12767,81	1000,30	1400,00	91,30	42,94	94,25	116,92	5,00	25,78
254	12962,50	1000,29	1399,96	91,30	42,52	94,25	116,74	5,00	25,78
255	13023,99	1000,29	1399,96	91,30	43,84	94,25	116,74	5,00	25,78
256	12899,47	1000,28	1399,98	91,30	43,18	94,25	116,75	5,00	25,78
257	13076,94	1000,30	1399,98	91,27	45,76	94,25	116,75	5,00	25,79
258	13156,64	1000,28	1400,05	91,27	46,20	94,25	116,88	5,00	25,79
259	13055,00	1000,28	1400,05	91,27	45,33	94,25	116,88	5,00	25,79
260	12873,22	1000,28	1400,06	91,27	45,31	94,25	116,78	5,00	25,79
261	12873,22	1000,29	1400,06	91,27	43,35	94,25	116,78	5,00	25,79
262	12815,91	1000,28	1400,09	91,20	43,70	94,25	116,86	5,00	25,77
263	12969,71	1000,29	1400,09	91,20	45,44	94,25	116,86	5,00	25,77
264	13046,85	1000,29	1399,97	91,20	45,24	94,25	116,73	5,00	25,77
265	12928,78	1000,29	1399,97	91,20	43,29	94,25	116,73	5,00	25,77
266	13024,12	1000,29	1399,99	91,20	43,04	74,25	116,76	5,00	25,77
267	12960,51	1000,29	1399,99	91,25	46,15	74,25	116,76	5,00	25,78
268	12974,30	1000,27	1399,98	91,25	45,81	74,25	116,74	5,00	25,78
269	12982,74	1000,28	1399,98	91,25	45,90	74,25	116,74	5,00	25,78
270	12955,79	1000,26	1400,07	91,25	45,86	74,25	116,66	5,00	25,78
271	12963,25	1000,28	1400,07	91,25	46,04	74,25	116,66	5,00	25,78
272	12824,33	1000,27	1400,07	91,27	45,61	74,25	116,74	5,00	25,79
273	12805,73	1000,29	1400,07	91,27	47,19	74,25	116,74	5,00	25,79
274	12873,10	1000,29	1400,00	91,27	47,70	74,25	116,87	5,00	25,79
275	12968,84	1000,28	1400,00	91,27	46,23	74,25	116,87	5,00	25,79

276	12967,72	1000,29	1400,09	91,27	45,99	74,25	116,82	5,00	25,79
277	12983,86	1000,29	1400,09	91,29	43,72	74,25	116,82	5,00	25,79
278	13185,63	1000,30	1400,09	91,29	43,73	74,25	116,86	5,00	25,79
279	12977,90	1000,30	1400,09	91,29	43,81	74,25	116,86	5,00	25,79
280	12893,23	1000,29	1399,96	91,29	43,14	74,25	116,76	5,00	25,79
281	13138,14	1000,28	1399,96	91,29	43,04	74,25	116,76	5,00	25,79
282	13036,60	1000,30	1400,11	91,30	43,46	74,25	116,83	5,00	25,79
283	13030,42	1000,31	1400,11	91,30	44,49	94,25	116,83	5,00	25,79
284	12876,85	1000,29	1400,00	91,30	45,23	94,25	116,76	5,00	25,79
285	12960,14	1000,30	1400,00	91,30	44,13	94,25	116,76	5,00	25,79
286	12868,84	1000,28	1400,03	91,30	44,92	94,25	116,80	5,00	25,79
287	12829,85	1000,29	1400,03	91,31	45,82	94,25	116,80	5,00	25,76
288	13028,44	1000,28	1399,95	91,31	46,13	94,25	116,78	5,00	25,76
289	12966,23	1000,26	1399,95	91,31	45,61	94,25	116,78	5,00	25,76
290	12838,26	1000,25	1400,08	91,31	44,92	94,25	116,84	5,00	25,76
291	12977,41	1000,28	1400,07	91,31	44,84	74,25	116,84	5,00	25,76
292	12964,99	1000,28	1400,07	91,31	45,29	74,25	116,66	5,00	25,79
293	12624,83	1000,28	1400,07	91,31	43,75	74,25	116,66	5,00	25,79
294	12624,83	1000,28	1400,12	91,31	44,05	74,25	116,93	5,00	25,79
295	13055,12	1000,29	1400,02	91,31	48,63	74,25	116,93	5,00	25,79
296	13055,12	1000,27	1400,02	91,31	48,22	74,25	116,69	5,00	25,79
297	13002,58	1000,28	1400,02	91,33	41,78	74,25	116,69	5,00	25,79
298	12996,63	1000,30	1400,08	91,33	41,78	74,25	116,84	5,00	25,79
299	12933,64	1000,29	1400,08	91,33	46,10	74,25	116,84	5,00	25,79
300	12933,64	1000,27	1400,11	91,33	46,12	74,25	116,88	5,00	25,79
301	13060,67	1000,29	1400,11	91,33	43,68	74,25	116,88	5,00	25,79
302	13087,16	1000,29	1399,99	91,27	43,68	74,25	116,83	5,00	25,79
303	12790,50	1000,28	1400,07	91,27	42,49	74,25	116,84	5,00	25,79
304	12842,28	1000,28	1400,07	91,27	42,67	74,25	116,84	5,00	25,79
305	13160,92	1000,28	1400,07	91,27	44,57	74,25	116,84	5,00	25,79
306	12818,05	1000,26	1400,07	91,27	44,71	74,25	117,06	5,00	25,79
307	12789,62	1000,26	1400,07	91,28	43,62	74,25	117,06	5,00	25,79
308	12761,63	1000,25	1400,07	91,28	45,59	74,25	116,79	5,00	25,79
309	12896,72	1000,28	1400,07	91,28	41,48	74,25	116,79	5,00	25,79
310	12853,81	1000,27	1400,07	91,28	41,57	74,25	116,80	5,00	25,79
311	13035,74	1000,28	1400,07	91,28	45,76	74,25	116,80	5,00	25,79
312	12696,84	1000,28	1399,97	91,32	45,91	74,25	116,75	5,00	25,80
313	12856,44	1000,28	1399,99	91,32	45,39	74,25	116,75	5,00	25,80
314	12971,08	1000,27	1399,99	91,32	46,60	74,25	116,90	5,00	25,80
315	12891,60	1000,28	1399,99	91,32	46,83	74,25	116,90	5,00	25,80
316	12865,71	1000,28	1400,00	91,32	45,09	74,25	116,74	5,00	25,80
317	12873,97	1000,28	1400,00	91,32	42,73	74,25	116,74	5,00	25,81
318	12677,54	1000,28	1400,00	91,32	43,22	74,25	116,80	5,00	25,81
319	12867,46	1000,28	1400,03	91,32	46,04	74,25	116,80	5,00	25,81
320	13061,91	1000,28	1400,03	91,32	46,75	74,25	116,85	5,00	25,81
321	12927,29	1000,28	1400,03	91,32	44,62	74,25	116,85	5,00	25,81
322	12953,93	1000,30	1399,95	91,14	43,95	74,25	116,87	5,00	25,77
323	13066,47	1000,30	1399,95	91,14	43,65	74,25	116,87	5,00	25,77
324	13033,76	1000,31	1399,95	91,14	43,56	74,25	116,83	5,00	25,77
325	13109,91	1000,30	1399,95	91,14	42,86	74,25	116,83	5,00	25,77
326	13119,37	1000,31	1400,08	91,14	43,89	74,25	116,94	5,00	25,77
327	12936,88	1000,29	1400,08	91,28	44,34	74,25	116,94	5,00	25,79
328	12818,93	1000,26	1399,98	91,28	44,32	74,25	116,69	5,00	25,79
329	12875,10	1000,25	1399,95	91,28	42,91	74,25	116,69	5,00	25,79
330	13054,13	1000,27	1399,95	91,28	43,30	74,25	116,74	5,00	25,79
331	13054,13	1000,27	1399,95	91,28	47,48	74,25	116,74	5,00	25,79
332	13058,95	1000,26	1399,88	91,27	46,82	74,25	116,69	5,00	25,77

333	12950,20	1000,28	1400,00	91,27	45,81	74,25	116,93	5,00	25,77
334	12791,76	1000,27	1400,00	91,27	45,79	74,25	116,93	5,00	25,77
335	13031,66	1000,26	1400,09	91,27	47,19	74,25	116,93	5,00	25,77
336	12962,25	1000,27	1400,09	91,27	42,45	74,25	116,91	5,00	25,77
337	12983,61	1000,29	1400,09	91,32	41,66	74,25	116,91	5,00	25,79
338	13029,56	1000,29	1399,96	91,32	42,68	74,25	116,73	5,00	25,79
339	13113,47	1000,29	1399,96	91,32	43,05	74,25	116,73	5,00	25,79
340	13019,66	1000,27	1400,17	91,32	42,63	74,25	116,82	5,00	25,79
341	13081,87	1000,29	1400,17	91,32	45,51	74,25	116,82	5,00	25,79
342	12972,07	1000,27	1400,03	91,34	45,84	74,25	116,90	5,00	25,79
343	12610,27	1000,26	1400,03	91,34	43,90	74,25	116,90	5,00	25,79
344	12762,13	1000,26	1400,06	91,34	44,27	74,25	116,79	5,00	25,79
345	12780,29	1000,28	1400,06	91,34	43,43	74,25	116,79	5,00	25,79
346	12837,39	1000,28	1400,02	91,34	42,91	74,25	116,76	5,00	25,79
347	12831,11	1000,28	1400,02	91,28	45,02	74,25	116,76	5,00	25,79
348	12809,12	1000,30	1399,95	91,28	45,35	74,25	116,77	5,00	25,79
349	12803,08	1000,29	1399,95	91,28	45,82	74,25	116,77	5,00	25,79
350	12820,56	1000,27	1399,93	91,28	46,43	74,25	116,87	5,00	25,79
351	12889,85	1000,24	1400,01	91,31	46,35	74,25	116,87	5,00	25,79
352	12983,61	1000,26	1400,01	91,31	46,28	74,25	116,95	5,00	25,79
353	13051,05	1000,28	1400,01	91,31	44,16	74,25	116,95	5,00	25,79
354	12972,81	1000,26	1399,96	91,31	43,61	74,25	116,81	5,00	25,79
355	12983,98	1000,26	1399,96	91,31	42,84	74,25	116,81	5,00	25,79
356	12673,85	1000,27	1400,06	91,31	43,09	74,25	116,72	5,00	25,79
357	12783,95	1000,29	1400,06	91,30	45,27	74,25	116,72	5,00	25,79
358	12864,59	1000,29	1400,08	91,30	46,38	74,25	116,85	5,00	25,79
359	12856,44	1000,31	1400,08	91,30	47,65	74,25	116,85	5,00	25,79
360	12791,25	1000,32	1400,04	91,30	46,56	74,25	116,65	5,00	25,79
361	12858,07	1000,29	1400,00	91,33	44,21	74,25	116,70	5,00	25,80
362	12877,73	1000,30	1400,00	91,33	44,43	94,25	116,70	5,00	25,80
363	12927,41	1000,30	1400,00	91,33	47,27	94,25	116,70	5,00	25,80
364	12842,66	1000,29	1400,05	91,33	46,26	94,25	116,90	5,00	25,80
365	12686,81	1000,26	1400,05	91,33	45,69	94,25	116,90	5,00	25,80
366	12686,81	1000,25	1400,18	91,33	45,99	94,25	116,80	5,00	25,80
367	13043,27	1000,26	1400,18	91,33	43,16	94,25	116,80	5,00	25,79
368	13043,27	1000,28	1400,20	91,33	43,16	94,25	116,92	5,00	25,79
369	12965,36	1000,27	1400,20	91,33	43,78	94,25	116,92	5,00	25,79
370	12771,97	1000,28	1400,07	91,33	44,04	94,25	116,79	5,00	25,79
371	13056,60	1000,29	1400,07	91,33	42,06	94,25	116,79	5,00	25,79
372	13046,73	1000,27	1400,01	91,32	42,29	94,25	116,79	5,00	25,79
373	12858,83	1000,25	1399,95	91,32	43,82	94,25	116,79	5,00	25,79
374	13029,56	1000,26	1399,95	91,32	43,86	94,25	116,74	5,00	25,79
375	13254,10	1000,26	1399,95	91,32	46,07	94,25	116,74	5,00	25,79
376	12993,04	1000,25	1399,88	91,32	45,47	94,25	116,68	5,00	25,79
377	12983,49	1000,25	1399,88	91,28	45,10	94,25	116,68	5,00	25,77
378	12945,47	1000,25	1399,93	91,28	46,01	94,25	116,75	5,00	25,77
379	12877,98	1000,25	1399,93	91,28	47,27	94,25	116,75	5,00	25,77
380	12928,16	1000,26	1399,91	91,28	46,48	94,25	116,66	5,00	25,77
381	12870,97	1000,28	1399,91	91,28	45,43	94,25	116,66	5,00	25,77
382	13053,64	1000,28	1400,13	91,31	44,85	94,25	116,90	5,00	25,79
383	13075,83	1000,27	1400,13	91,31	46,72	94,25	116,90	5,00	25,79
384	12874,22	1000,26	1400,26	91,31	46,07	94,25	116,87	5,00	25,79
385	12995,39	1000,28	1400,26	91,31	42,23	94,25	116,87	5,00	25,79
386	13034,87	1000,28	1400,06	91,31	42,89	94,25	116,79	5,00	25,79
387	13284,45	1000,27	1399,96	91,33	43,75	94,25	116,88	5,00	25,79
388	13117,77	1000,26	1399,96	91,33	43,60	94,25	116,88	5,00	25,79
389	12934,01	1000,25	1400,06	91,33	44,21	94,25	116,72	5,00	25,79

390	12870,72	1000,23	1400,06	91,33	43,12	94,25	116,72	5,00	25,79
391	12836,89	1000,24	1400,06	91,33	43,73	94,25	116,72	5,00	25,79
392	12775,00	1000,24	1400,17	91,24	45,72	94,25	116,87	5,00	25,78
393	12705,97	1000,26	1400,17	91,24	45,85	94,25	116,87	5,00	25,78
394	12825,59	1000,26	1400,06	91,24	45,54	94,25	116,77	5,00	25,78
395	12960,27	1000,26	1400,07	91,24	42,94	94,25	116,81	5,00	25,78
396	13017,06	1000,25	1400,07	91,24	42,54	94,25	116,81	5,00	25,78
397	12891,85	1000,24	1400,07	91,28	44,77	74,25	116,81	5,00	25,78
398	12853,81	1000,21	1400,01	91,28	43,98	74,25	116,72	5,00	25,78
399	12956,91	1000,21	1400,01	91,28	45,07	74,25	116,72	5,00	25,78
400	12953,93	1000,20	1400,04	91,28	45,21	74,25	116,80	5,00	25,78
401	12661,01	1000,21	1400,04	91,28	46,35	74,25	116,80	5,00	25,78
402	12661,01	1000,21	1400,02	91,27	46,23	74,25	116,73	5,00	25,79
403	13018,55	1000,23	1400,02	91,27	45,97	74,25	116,73	5,00	25,79
404	12908,46	1000,23	1399,96	91,27	45,57	74,25	116,78	5,00	25,79
405	13117,77	1000,22	1400,07	91,27	45,48	74,25	116,78	5,00	25,79
406	13049,69	1000,22	1400,07	91,27	45,47	74,25	116,98	5,00	25,79
407	13049,69	1000,21	1400,07	91,24	43,79	74,25	116,98	5,00	25,80
408	12717,50	1000,21	1399,82	91,24	44,01	74,25	116,81	5,00	25,80
409	12876,10	1000,21	1399,98	91,24	40,90	74,25	116,81	5,00	25,80
410	12981,75	1000,21	1399,98	91,24	41,97	74,25	116,80	5,00	25,80
411	13002,33	1000,21	1399,98	91,24	43,68	74,25	116,80	5,00	25,80
412	12977,03	1000,21	1399,95	91,17	43,32	74,25	116,73	5,00	25,77
413	13156,40	1000,20	1399,98	91,17	43,53	74,25	116,73	5,00	25,77
414	13053,52	1000,22	1399,98	91,17	44,14	94,25	116,73	5,00	25,77
415	13068,93	1000,24	1400,01	91,17	44,86	94,25	116,72	5,00	25,77
416	12889,48	1000,24	1400,01	91,17	44,96	94,25	116,72	5,00	25,77
417	13084,82	1000,23	1400,01	91,24	44,90	94,25	116,72	5,00	25,78
418	12852,93	1000,24	1400,15	91,24	46,00	94,25	116,75	5,00	25,78
419	12973,81	1000,25	1400,15	91,24	45,31	94,25	116,75	5,00	25,78
420	12799,56	1000,25	1400,09	91,24	46,13	94,25	116,73	5,00	25,78
421	12867,72	1000,25	1400,09	91,24	44,85	94,25	116,73	5,00	25,78
422	12825,33	1000,25	1399,89	91,31	45,46	74,25	116,75	5,00	25,79
423	13065,73	1000,24	1399,97	91,31	44,70	74,25	116,75	5,00	25,79
424	12948,21	1000,23	1399,97	91,31	44,85	74,25	116,74	5,00	25,79
425	12964,24	1000,21	1399,97	91,31	43,68	74,25	116,74	5,00	25,79
426	13000,72	1000,20	1399,97	91,31	44,61	74,25	116,88	5,00	25,79
427	12833,75	1000,20	1399,97	91,24	44,80	74,25	116,88	5,00	25,78
428	13006,91	1000,22	1399,97	91,24	44,94	74,25	116,84	5,00	25,78
429	12785,59	1000,23	1399,97	91,24	42,82	74,25	116,84	5,00	25,78
430	12939,62	1000,23	1399,91	91,24	42,25	74,25	116,66	5,00	25,78
431	12972,69	1000,23	1399,91	91,24	44,11	74,25	116,66	5,00	25,78
432	12879,98	1000,23	1400,05	91,27	43,59	74,25	116,89	5,00	25,79
433	12920,43	1000,24	1400,05	91,27	46,53	74,25	116,89	5,00	25,79
434	13034,13	1000,25	1400,16	91,27	46,87	74,25	116,83	5,00	25,79
435	12883,73	1000,27	1399,97	91,27	42,42	74,25	116,83	5,00	25,79
436	12773,36	1000,26	1399,97	91,27	41,39	74,25	116,61	5,00	25,79
437	12969,58	1000,27	1399,97	91,25	42,99	74,25	116,61	5,00	25,77
438	12969,58	1000,26	1400,04	91,25	44,02	74,25	116,88	5,00	25,77
439	12980,39	1000,25	1400,04	91,25	47,33	74,25	116,88	5,00	25,77
440	12997,87	1000,23	1400,01	91,25	47,59	74,25	116,64	5,00	25,77
441	12997,87	1000,21	1399,85	91,25	42,66	74,25	116,64	5,00	25,77
442	12997,13	1000,23	1399,85	91,30	42,61	74,25	116,72	5,00	25,78
443	13000,72	1000,22	1400,05	91,30	46,25	74,25	116,86	5,00	25,78
444	13086,05	1000,23	1400,05	91,30	46,25	74,25	116,86	5,00	25,78
445	13007,78	1000,24	1400,05	91,30	45,30	74,25	116,86	5,00	25,78
446	12830,48	1000,25	1400,03	91,30	42,32	74,25	116,87	5,00	25,78

447	13190,39	1000,24	1400,03	91,28	42,57	74,25	116,87	5,00	25,79
448	13010,50	1000,23	1399,83	91,28	43,42	74,25	116,54	5,00	25,79
449	12780,04	1000,22	1399,83	91,28	42,04	74,25	116,54	5,00	25,79
450	12810,38	1000,22	1400,01	91,28	41,83	74,25	116,70	5,00	25,79
451	12845,16	1000,21	1400,01	91,28	48,93	74,25	116,70	5,00	25,79
452	12891,23	1000,24	1400,05	91,32	48,82	74,25	116,74	5,00	25,80
453	12669,53	1000,24	1400,05	91,32	45,57	74,25	116,74	5,00	25,80
454	12931,52	1000,22	1399,97	91,32	45,41	74,25	116,87	5,00	25,80
455	12866,96	1000,23	1399,97	91,32	45,09	74,25	116,87	5,00	25,80
456	12992,29	1000,23	1400,04	91,32	44,18	74,25	116,87	5,00	25,80
457	12861,96	1000,23	1400,04	91,25	43,24	94,25	116,87	5,00	25,81
458	12790,25	1000,31	1400,94	91,25	42,82	94,25	116,41	5,00	25,81
459	13151,99	1000,70	1403,80	91,25	43,26	94,25	116,36	5,00	25,81
460	13160,07	1001,26	1403,80	91,25	44,17	94,25	116,36	5,00	25,81
461	13158,97	1001,92	1405,12	91,25	51,31	94,25	116,28	5,00	25,81
462	12967,97	1002,56	1405,12	91,34	50,77	94,25	116,28	5,00	25,80
463	13201,74	1003,13	1405,86	91,34	50,79	94,25	116,28	5,00	25,80
464	13159,58	1003,62	1405,86	91,34	53,04	94,25	116,43	5,00	25,80
465	13193,93	1003,96	1405,86	91,34	48,34	94,25	116,43	5,00	25,80
466	12994,90	1004,22	1406,16	91,34	48,49	94,25	116,29	5,00	25,80
467	13045,74	1004,40	1406,16	91,25	42,82	94,25	116,29	5,00	25,77
468	13361,34	1004,53	1406,72	91,25	43,47	94,25	116,39	5,00	25,77
469	13275,96	1004,66	1407,24	91,25	45,91	94,25	116,37	5,00	25,77
470	13284,69	1004,80	1407,24	91,25	44,70	94,25	116,37	5,00	25,77
471	13183,79	1004,91	1407,24	91,25	43,15	94,25	116,37	5,00	25,77
472	13266,74	1005,05	1407,59	91,27	44,66	94,25	116,20	5,00	25,74
473	13323,07	1005,18	1408,20	91,27	45,00	94,25	116,20	5,00	25,74
474	13282,39	1005,33	1408,20	91,27	44,72	74,25	116,26	5,00	25,74
475	13282,39	1005,44	1408,20	91,27	47,56	74,25	116,26	5,00	25,74
476	13518,83	1005,58	1408,41	91,27	47,70	74,25	116,39	5,00	25,74
477	13314,61	1005,70	1408,41	91,25	45,74	74,25	116,39	5,00	25,78
478	13280,21	1005,82	1409,01	91,25	44,95	74,25	116,32	5,00	25,78
479	13298,39	1005,94	1409,36	91,25	42,76	74,25	116,32	5,00	25,78
480	13282,15	1006,09	1409,36	91,25	42,87	74,25	116,14	5,00	25,78
481	13402,75	1006,21	1409,86	91,25	44,08	74,25	116,14	5,00	25,78
482	13337,21	1006,33	1409,86	91,29	44,78	94,25	116,17	5,00	25,78
483	13145,01	1006,45	1409,86	91,29	47,65	94,25	116,17	5,00	25,78
484	13206,62	1006,57	1410,40	91,29	47,24	94,25	116,18	5,00	25,78
485	13288,57	1006,68	1410,40	91,29	47,24	94,25	116,18	5,00	25,78
486	13356,28	1006,79	1410,78	91,29	47,02	94,25	116,19	5,00	25,78
487	13180,37	1006,89	1411,10	91,33	45,68	94,25	116,17	5,00	25,77
488	13368,70	1006,98	1411,10	91,33	45,45	94,25	116,17	5,00	25,77
489	13098,23	1007,06	1411,61	91,33	46,37	94,25	116,14	5,00	25,77
490	13307,23	1007,17	1411,61	91,33	46,14	94,25	116,14	5,00	25,77
491	13381,22	1007,25	1411,61	91,33	47,09	94,25	116,14	5,00	25,77
492	13107,45	1007,36	1412,02	91,34	46,28	94,25	116,36	5,00	25,80
493	13368,21	1007,43	1412,45	91,34	46,01	94,25	116,36	5,00	25,80
494	13275,72	1007,53	1412,45	91,34	47,10	94,25	116,13	5,00	25,80
495	13343,73	1007,62	1412,45	91,34	42,30	94,25	116,13	5,00	25,80
496	13327,18	1007,70	1412,86	91,34	42,34	94,25	116,26	5,00	25,80
497	13134,83	1007,78	1413,12	91,29	46,18	94,25	116,26	5,00	25,80
498	13151,13	1007,87	1413,12	91,29	46,25	94,25	116,26	5,00	25,80
499	13313,76	1007,94	1413,75	91,29	45,08	74,25	116,26	5,00	25,80
500	13257,87	1008,03	1413,75	91,29	45,02	74,25	116,08	5,00	25,80
501	13379,54	1008,09	1413,96	91,29	44,42	74,25	116,21	5,00	25,84
502	13226,00	1008,17	1413,96	91,31	44,09	74,25	116,21	5,00	25,84
503	13189,66	1008,24	1414,28	91,31	46,89	74,25	116,21	5,00	25,84

504	13268,19	1008,31	1414,28	91,31	45,50	74,25	116,33	5,00	25,84
505	13333,47	1008,38	1414,28	91,31	45,62	74,25	116,33	5,00	25,84
506	13080,14	1008,42	1414,48	91,31	45,35	74,25	116,14	5,00	25,84
507	13177,07	1008,46	1414,48	91,32	43,10	84,25	116,14	5,00	25,80
508	13151,13	1008,50	1414,88	91,32	43,94	84,25	116,23	5,00	25,80
509	13001,46	1008,57	1415,15	91,32	47,05	84,25	116,23	5,00	25,80
510	13171,45	1008,61	1415,15	91,32	47,14	84,25	116,32	5,00	25,80
511	13174,87	1008,66	1415,31	91,32	46,04	84,25	116,32	5,00	25,80
512	13189,78	1008,71	1415,31	91,28	45,45	84,25	116,13	5,00	25,79
513	13384,47	1008,75	1415,31	91,28	43,88	84,25	116,13	5,00	25,79
514	13384,47	1008,81	1415,70	91,28	43,70	84,25	116,30	5,00	25,79
515	13321,99	1008,86	1415,87	91,28	46,41	84,25	116,30	5,00	25,79
516	13399,50	1008,90	1415,87	91,28	46,79	84,25	116,17	5,00	25,79
517	13334,07	1008,95	1416,03	91,26	44,00	84,25	116,17	5,00	25,78
518	13334,19	1008,98	1416,03	91,26	43,74	84,25	116,27	5,00	25,78
519	13452,18	1009,03	1416,38	91,26	45,60	84,25	116,27	5,00	25,78
520	13240,36	1009,06	1416,38	91,26	45,60	84,25	116,17	5,00	25,78
521	13204,18	1009,09	1416,38	91,26	43,15	84,25	116,17	5,00	25,78
522	13282,27	1009,14	1416,57	91,29	43,84	84,25	116,17	5,00	25,79
523	13249,00	1009,18	1416,57	91,29	45,69	84,25	116,17	5,00	25,79
524	13233,67	1009,22	1416,82	91,29	45,29	84,25	116,26	5,00	25,79
525	13137,90	1009,26	1416,82	91,29	45,44	84,25	116,26	5,00	25,79
526	13210,89	1009,29	1417,33	91,29	45,36	84,25	116,01	5,00	25,79
527	13302,99	1009,33	1417,44	91,32	43,97	84,25	116,01	5,00	25,78
528	13341,08	1009,36	1417,44	91,32	44,37	84,25	116,29	5,00	25,78
529	13350,85	1009,38	1417,44	91,32	48,59	84,25	116,29	5,00	25,78
530	13235,25	1009,39	1417,59	91,32	48,46	84,25	116,15	5,00	25,78
531	13202,23	1009,42	1417,59	91,32	43,58	84,25	116,15	5,00	25,78
532	12978,15	1009,43	1417,85	91,33	43,96	84,25	116,37	5,00	25,77
533	13296,93	1009,45	1417,85	91,33	46,92	84,25	116,37	5,00	25,77
534	13256,17	1009,50	1417,97	91,33	47,73	84,25	116,29	5,00	25,77
535	13333,95	1009,52	1418,23	91,33	42,55	84,25	116,37	5,00	25,77
536	13340,47	1009,54	1418,23	91,33	42,68	84,25	116,37	5,00	25,77
537	13305,41	1009,52	1418,23	91,32	43,79	84,25	116,37	5,00	25,79
538	13302,14	1009,52	1418,40	91,32	43,01	84,25	116,23	5,00	25,79
539	13279,48	1009,53	1418,49	91,32	43,12	84,25	116,23	5,00	25,79
540	13179,64	1009,57	1418,49	91,32	43,13	84,25	116,24	5,00	25,79
541	13074,85	1009,57	1418,56	91,32	47,16	84,25	116,24	5,00	25,79
542	13187,58	1009,56	1418,56	91,33	47,51	84,25	116,12	5,00	25,79
543	13168,15	1009,58	1418,81	91,33	47,07	84,25	116,12	5,00	25,79
544	13144,64	1009,59	1418,81	91,33	46,67	84,25	116,27	5,00	25,79
545	12948,33	1009,60	1418,74	91,33	48,93	84,25	116,27	5,00	25,79
546	13196,01	1009,64	1418,74	91,33	47,59	84,25	116,02	5,00	25,79
547	13433,84	1009,64	1418,94	91,22	45,59	84,25	116,35	5,00	25,79
548	13433,84	1009,65	1418,94	91,22	43,96	84,25	116,35	5,00	25,79
549	13109,79	1009,66	1419,15	91,22	47,63	84,25	116,35	5,00	25,79
550	13247,78	1009,69	1419,15	91,22	42,39	84,25	116,43	5,00	25,79
551	13247,78	1009,69	1419,15	91,22	42,39	84,25	116,43	5,00	25,79
1	84,88	83,36	90,91	45,65	69,98	84,25	77,86	62,50	42,98
2	86,15	83,36	90,91	45,62	70,36	84,25	77,81	62,50	42,91
3	86,69	83,36	90,91	45,62	76,68	84,25	77,81	62,50	42,91
4	86,16	83,36	90,91	45,62	75,55	84,25	77,87	62,50	42,91
5	87,42	83,36	90,91	45,62	77,47	84,25	77,87	62,50	42,91
6	85,81	83,36	90,92	45,62	77,72	84,25	77,90	62,50	42,91
7	86,67	83,36	90,92	45,65	73,83	84,25	77,90	62,50	42,98
8	86,67	83,36	90,91	45,65	74,55	84,25	77,88	62,50	42,98

9	86,35	83,36	90,91	45,65	72,40	84,25	77,88	62,50	42,98
10	85,39	83,36	90,91	45,65	72,40	84,25	77,93	62,50	42,98
11	85,74	83,36	90,91	45,65	75,32	84,25	77,93	62,50	42,98
12	85,40	83,36	90,92	45,68	76,17	84,25	77,89	62,50	42,97
13	84,72	83,36	90,92	45,68	73,06	84,25	77,89	62,50	42,97
14	85,14	83,36	90,90	45,68	73,34	84,25	77,91	62,50	42,97
15	85,98	83,36	90,90	45,68	75,98	84,25	77,91	62,50	42,97
16	86,70	83,36	90,90	45,68	76,72	84,25	77,95	62,50	42,97
17	85,34	83,36	90,90	45,64	74,67	94,25	77,95	62,50	42,96
18	86,39	83,36	90,90	45,64	73,62	94,25	77,94	62,50	42,96
19	86,48	83,36	90,90	45,64	73,18	94,25	77,94	62,50	42,96
20	86,30	83,36	90,90	45,64	72,28	94,25	77,89	62,50	42,96
21	85,47	83,36	90,90	45,64	71,44	94,25	77,89	62,50	42,96
22	86,41	83,36	90,89	45,62	71,59	94,25	77,87	62,50	42,97
23	85,81	83,36	90,89	45,62	74,31	94,25	77,87	62,50	42,97
24	85,76	83,36	90,90	45,62	73,50	94,25	77,91	62,50	42,97
25	85,72	83,36	90,90	45,62	75,25	94,25	77,91	62,50	42,97
26	85,51	83,36	90,90	45,62	75,30	94,25	77,87	62,50	42,97
27	85,79	83,36	90,90	45,63	73,45	94,25	77,87	62,50	42,98
28	85,17	83,36	90,90	45,63	74,97	94,25	77,85	62,50	42,98
29	85,70	83,36	90,90	45,63	76,45	94,25	77,85	62,50	42,98
30	84,86	83,36	90,91	45,63	77,68	94,25	77,90	62,50	42,98
31	86,16	83,36	90,91	45,63	77,97	94,25	77,90	62,50	42,98
32	85,68	83,36	90,91	45,63	78,74	94,25	77,87	62,50	43,02
33	85,55	83,36	90,91	45,63	74,84	94,25	77,87	62,50	43,02
34	85,72	83,37	90,91	45,63	75,26	94,25	77,92	62,50	43,02
35	85,04	83,37	90,91	45,63	76,18	94,25	77,92	62,50	43,02
36	84,80	83,36	90,90	45,63	76,03	94,25	77,82	62,50	43,02
37	85,87	83,37	90,90	45,67	74,11	94,25	77,82	62,50	42,98
38	87,10	83,36	90,90	45,67	73,44	94,25	77,82	62,50	42,98
39	86,05	83,36	90,90	45,67	77,23	94,25	77,82	62,50	42,98
40	86,49	83,36	90,90	45,67	75,70	94,25	77,89	62,50	42,98
41	85,62	83,36	90,90	45,67	76,53	94,25	77,89	62,50	42,98
42	85,31	83,36	90,91	45,68	76,15	94,25	77,85	62,50	43,00
43	87,79	83,37	90,91	45,68	74,82	94,25	77,85	62,50	43,00
44	85,69	83,37	90,91	45,68	75,10	94,25	77,82	62,50	43,00
45	85,69	83,37	90,91	45,68	74,49	94,25	77,82	62,50	43,00
46	86,30	83,37	90,90	45,68	76,31	94,25	77,94	62,50	43,00
47	86,30	83,36	90,90	45,68	77,67	94,25	77,94	62,50	42,95
48	87,58	83,37	90,90	45,68	76,68	94,25	77,91	62,50	42,95
49	87,04	83,37	90,90	45,68	70,85	94,25	77,91	62,50	42,95
50	86,88	83,37	90,90	45,68	71,34	94,25	77,96	62,50	42,95
51	87,24	83,36	90,90	45,68	73,17	94,25	77,96	62,50	42,95
52	86,92	83,36	90,90	45,67	73,30	94,25	77,83	62,50	42,98
53	85,57	83,36	90,90	45,67	70,68	94,25	77,83	62,50	42,98
54	85,69	83,37	90,90	45,67	70,94	94,25	77,81	62,50	42,98
55	86,67	83,36	90,90	45,67	77,98	94,25	77,81	62,50	42,98
56	86,03	83,36	90,92	45,67	77,87	94,25	77,92	62,50	42,98
57	86,83	83,37	90,92	45,64	77,68	94,25	77,92	62,50	42,96
58	85,62	83,37	90,91	45,64	77,60	94,25	77,91	62,50	42,96
59	85,77	83,37	90,91	45,64	71,88	94,25	77,91	62,50	42,96
60	87,11	83,37	90,92	45,64	74,23	94,25	78,03	62,50	42,96
61	85,11	83,36	90,92	45,64	74,46	94,25	78,03	62,50	42,96
62	86,42	83,37	90,91	45,65	73,31	94,25	77,97	62,50	42,96
63	87,76	83,36	90,91	45,65	71,62	94,25	77,97	62,50	42,96
64	86,52	83,36	90,91	45,65	70,54	94,25	77,87	62,50	42,96
65	86,27	83,36	90,91	45,65	71,00	94,25	77,87	62,50	42,96

66	85,34	83,36	90,91	45,65	72,02	94,25	77,86	62,50	42,96
67	84,67	83,36	90,91	45,65	77,26	94,25	77,86	62,50	42,98
68	85,46	83,36	90,91	45,65	78,10	94,25	77,88	62,50	42,98
69	86,68	83,36	90,91	45,65	78,93	94,25	77,88	62,50	42,98
70	84,68	83,36	90,90	45,65	76,42	94,25	77,89	62,50	42,98
71	84,69	83,36	90,90	45,65	74,60	94,25	77,89	62,50	42,98
72	85,41	83,36	90,90	45,62	75,47	94,25	77,81	62,50	42,96
73	86,44	83,36	90,90	45,62	74,99	94,25	77,81	62,50	42,96
74	86,33	83,36	90,91	45,62	74,36	94,25	77,81	62,50	42,96
75	85,24	83,36	90,91	45,62	76,50	94,25	77,82	62,50	42,96
76	85,74	83,36	90,91	45,62	76,60	94,25	77,82	62,50	42,96
77	84,77	83,36	90,91	45,64	79,30	94,25	77,82	62,50	43,02
78	87,35	83,37	90,91	45,64	78,51	94,25	77,82	62,50	43,02
79	86,60	83,37	90,91	45,64	79,41	94,25	77,82	62,50	43,02
80	86,60	83,37	90,92	45,64	75,98	94,25	77,84	62,50	43,02
81	86,53	83,37	90,92	45,64	76,59	94,25	77,84	62,50	43,02
82	86,05	83,36	90,92	45,70	76,37	94,25	77,89	62,50	43,00
83	85,81	83,37	90,92	45,70	75,47	94,25	77,89	62,50	43,00
84	85,27	83,36	90,91	45,70	77,22	94,25	77,82	62,50	43,00
85	85,73	83,36	90,91	45,70	75,22	94,25	77,82	62,50	43,00
86	85,47	83,37	90,92	45,70	75,70	94,25	77,88	62,50	43,00
87	85,33	83,36	90,92	45,65	78,49	94,25	77,88	62,50	42,99
88	86,22	83,36	90,90	45,65	78,72	94,25	77,87	62,50	42,99
89	86,45	83,36	90,90	45,65	74,69	94,25	77,87	62,50	42,99
90	87,16	83,36	90,91	45,65	73,92	94,25	77,97	62,50	42,99
91	86,24	83,36	90,91	45,69	73,94	94,25	77,87	62,50	42,98
92	86,52	83,36	90,91	45,69	75,52	94,25	77,87	62,50	42,98
93	85,88	83,36	90,91	45,69	71,72	94,25	77,92	62,50	42,98
94	84,10	83,36	90,91	45,69	76,63	94,25	77,92	62,50	42,98
95	85,64	83,36	90,91	45,69	77,20	94,25	77,92	62,50	42,98
96	86,85	83,37	90,91	45,69	74,98	94,25	77,91	62,50	42,98
97	85,22	83,37	90,91	45,62	73,63	94,25	77,91	62,50	42,96
98	86,11	83,37	90,92	45,62	72,62	94,25	77,96	62,50	42,96
99	86,91	83,36	90,92	45,62	73,11	94,25	77,96	62,50	42,96
100	85,58	83,36	90,91	45,62	72,35	94,25	77,88	62,50	42,96
101	85,01	83,36	90,91	45,62	70,62	94,25	77,88	62,50	42,96
102	85,21	83,36	90,92	45,68	71,71	94,25	77,89	62,50	42,99
103	86,07	83,36	90,92	45,68	75,95	94,25	77,89	62,50	42,99
104	86,09	83,37	90,91	45,68	76,89	94,25	77,92	62,50	42,99
105	86,19	83,36	90,91	45,68	75,61	94,25	77,92	62,50	42,99
106	85,84	83,36	90,91	45,68	76,92	94,25	77,89	62,50	42,99
107	85,58	83,36	90,91	45,65	75,53	94,25	77,89	62,50	42,94
108	85,84	83,36	90,91	45,65	75,83	94,25	77,78	62,50	42,94
109	85,26	83,36	90,91	45,65	75,87	94,25	77,78	62,50	42,94
110	86,51	83,36	90,91	45,65	75,64	94,25	77,97	62,50	42,94
111	86,50	83,36	90,91	45,65	81,30	94,25	77,97	62,50	42,94
112	86,06	83,36	90,91	45,66	80,13	94,25	77,88	62,50	42,98
113	85,69	83,36	90,91	45,66	71,58	94,25	77,88	62,50	42,98
114	86,01	83,36	90,92	45,66	71,28	94,25	77,89	62,50	42,98
115	85,92	83,36	90,92	45,66	75,72	94,25	77,89	62,50	42,98
116	86,43	83,36	90,92	45,66	75,00	94,25	77,95	62,50	42,98
117	86,43	83,36	90,92	45,65	74,59	94,25	77,95	62,50	42,97
118	86,61	83,36	90,90	45,65	75,46	94,25	77,85	62,50	42,97
119	87,15	83,36	90,90	45,65	72,42	94,25	77,85	62,50	42,97
120	87,15	83,36	90,92	45,65	72,28	94,25	77,85	62,50	42,97
121	86,69	83,36	90,92	45,65	75,83	94,25	77,85	62,50	42,97
122	86,06	83,36	90,92	45,64	75,83	94,25	77,93	62,50	43,02

123	84,89	83,36	90,92	45,64	75,44	94,25	77,93	62,50	43,02
124	84,72	83,36	90,92	45,64	76,00	94,25	77,90	62,50	43,02
125	85,94	83,36	90,92	45,64	73,52	94,25	77,90	62,50	43,02
126	86,62	83,36	90,92	45,64	72,77	94,25	77,94	62,50	43,02
127	86,13	83,36	90,92	45,66	73,28	94,25	77,94	62,50	42,99
128	84,64	83,36	90,91	45,66	73,35	94,25	77,87	62,50	42,99
129	84,95	83,36	90,91	45,66	71,81	94,25	77,87	62,50	42,99
130	86,24	83,36	90,90	45,66	73,07	94,25	77,92	62,50	42,99
131	85,59	83,36	90,90	45,66	76,94	94,25	77,92	62,50	42,99
132	84,25	83,36	90,92	45,60	75,78	94,25	77,91	62,50	42,97
133	85,93	83,36	90,92	45,60	73,68	94,25	77,91	62,50	42,97
134	86,95	83,36	90,92	45,60	74,85	94,25	77,95	62,50	42,97
135	86,46	83,36	90,92	45,60	74,07	94,25	77,95	62,50	42,97
136	87,17	83,36	90,91	45,60	74,29	94,25	77,89	62,50	42,97
137	86,74	83,36	90,91	45,63	72,60	94,25	77,89	62,50	42,98
138	86,85	83,36	90,91	45,63	72,23	94,25	77,91	62,50	42,98
139	87,74	83,36	90,91	45,63	75,67	94,25	77,91	62,50	42,98
140	86,63	83,36	90,91	45,63	75,58	94,25	77,90	62,50	42,98
141	85,74	83,36	90,91	45,63	72,21	94,25	77,90	62,50	42,98
142	85,38	83,36	90,91	45,65	73,13	94,25	77,92	62,50	42,98
143	84,51	83,36	90,91	45,65	73,07	94,25	77,92	62,50	42,98
144	85,57	83,36	90,90	45,65	73,38	94,25	77,84	62,50	42,98
145	85,01	83,36	90,90	45,65	73,76	94,25	77,84	62,50	42,98
146	87,23	83,36	90,91	45,65	72,85	94,25	77,85	62,50	42,98
147	85,65	83,36	90,91	45,67	76,79	94,25	77,85	62,50	42,99
148	86,43	83,36	90,91	45,67	74,83	94,25	77,89	62,50	42,99
149	85,89	83,36	90,91	45,67	75,91	94,25	77,89	62,50	42,99
150	86,79	83,36	90,92	45,67	75,00	94,25	77,94	62,50	42,99
151	85,75	83,36	90,92	45,67	73,69	94,25	77,94	62,50	42,99
152	85,75	83,36	90,92	45,67	72,92	94,25	77,87	62,50	42,95
153	87,14	83,36	90,91	45,67	72,22	94,25	77,87	62,50	42,95
154	87,14	83,36	90,91	45,67	72,22	94,25	77,79	62,50	42,95
155	86,79	83,36	90,91	45,67	74,41	94,25	77,79	62,50	42,95
156	86,69	83,36	90,90	45,67	74,41	94,25	77,81	62,50	42,95
157	87,23	83,36	90,90	45,65	78,34	94,25	77,81	62,50	42,98
158	85,51	83,36	90,91	45,65	77,34	94,25	77,83	62,50	42,98
159	84,35	83,36	90,91	45,65	76,17	94,25	77,83	62,50	42,98
160	87,31	83,36	90,91	45,65	76,81	74,25	77,91	62,50	42,98
161	88,18	83,36	90,91	45,65	76,77	74,25	77,91	62,50	42,98
162	87,57	83,36	90,90	45,65	74,17	74,25	77,91	62,50	42,97
163	87,51	83,36	90,90	45,65	70,46	74,25	77,91	62,50	42,97
164	86,79	83,36	90,91	45,65	70,94	74,25	77,91	62,50	42,97
165	86,81	83,36	90,91	45,65	72,00	74,25	77,91	62,50	42,97
166	86,49	83,36	90,90	45,65	72,59	74,25	77,88	62,50	42,97
167	87,08	83,36	90,90	45,65	73,07	74,25	77,88	62,50	43,02
168	86,43	83,36	90,91	45,65	73,33	74,25	77,93	62,50	43,02
169	85,23	83,36	90,91	45,65	74,30	74,25	77,93	62,50	43,02
170	86,32	83,36	90,92	45,65	73,99	74,25	77,85	62,50	43,02
171	86,18	83,36	90,92	45,65	72,32	74,25	77,85	62,50	43,02
172	85,31	83,36	90,91	45,67	72,51	74,25	77,84	62,50	42,99
173	86,75	83,36	90,91	45,67	76,54	74,25	77,95	62,50	42,99
174	85,21	83,36	90,91	45,67	77,33	74,25	77,95	62,50	42,99
175	85,83	83,36	90,91	45,67	75,45	74,25	77,95	62,50	42,99
176	87,19	83,36	90,91	45,67	71,53	74,25	77,89	62,50	42,99
177	84,29	83,36	90,91	45,66	70,34	74,25	77,89	62,50	43,00
178	87,19	83,36	90,91	45,66	69,27	74,25	77,84	62,50	43,00
179	86,46	83,36	90,91	45,66	74,34	74,25	77,84	62,50	43,00

180	86,59	83,36	90,91	45,66	72,97	74,25	77,90	62,50	43,00
181	87,25	83,36	90,91	45,66	76,17	74,25	77,90	62,50	43,00
182	87,08	83,36	90,91	45,64	77,81	74,25	77,95	62,50	42,98
183	86,21	83,36	90,91	45,64	74,27	74,25	77,95	62,50	42,98
184	85,38	83,36	90,91	45,64	72,66	74,25	77,89	62,50	42,98
185	85,27	83,36	90,91	45,64	71,40	74,25	77,89	62,50	42,98
186	85,10	83,36	90,91	45,64	72,09	74,25	77,91	62,50	42,98
187	85,10	83,36	90,91	45,59	74,79	74,25	77,91	62,50	42,95
188	84,77	83,36	90,91	45,59	74,94	74,25	77,93	62,50	42,95
189	86,55	83,36	90,91	45,59	75,51	74,25	77,86	62,50	42,95
190	86,73	83,36	90,91	45,59	75,80	74,25	77,86	62,50	42,95
191	85,33	83,36	90,91	45,59	73,43	74,25	77,86	62,50	42,95
192	86,04	83,36	90,90	45,60	76,14	74,25	77,82	62,50	42,96
193	86,04	83,36	90,90	45,60	77,38	74,25	77,82	62,50	42,96
194	86,82	83,36	90,91	45,60	76,96	74,25	77,86	62,50	42,96
195	86,49	83,36	90,91	45,60	78,74	74,25	77,86	62,50	42,96
196	86,86	83,36	90,92	45,60	78,03	74,25	77,94	62,50	42,96
197	85,24	83,36	90,91	45,64	75,65	74,25	77,94	62,50	42,91
198	84,40	83,36	90,91	45,64	75,33	74,25	77,89	62,50	42,91
199	86,21	83,36	90,90	45,64	73,29	74,25	77,89	62,50	42,91
200	87,10	83,36	90,90	45,64	74,02	74,25	77,91	62,50	42,91
201	86,53	83,36	90,90	45,64	75,25	74,25	77,91	62,50	42,91
202	85,20	83,36	90,90	45,67	74,48	74,25	77,85	62,50	42,99
203	86,50	83,36	90,91	45,67	73,72	74,25	77,85	62,50	42,99
204	87,02	83,36	90,91	45,67	74,65	74,25	77,93	62,50	42,99
205	87,12	83,36	90,91	45,67	76,58	74,25	77,93	62,50	42,99
206	87,44	83,36	90,90	45,67	74,81	74,25	77,85	62,50	42,99
207	87,58	83,36	90,92	45,67	70,99	74,25	77,85	62,50	42,98
208	87,68	83,36	90,92	45,67	70,71	74,25	77,83	62,50	42,98
209	87,07	83,36	90,92	45,67	74,53	74,25	77,83	62,50	42,98
210	87,02	83,36	90,92	45,67	74,44	74,25	77,88	62,50	42,98
211	87,15	83,36	90,92	45,67	75,65	74,25	77,88	62,50	42,98
212	86,35	83,36	90,92	45,65	75,69	74,25	77,86	62,50	43,01
213	86,43	83,36	90,92	45,65	73,46	74,25	77,86	62,50	43,01
214	86,02	83,36	90,91	45,65	73,26	74,25	77,90	62,50	43,01
215	85,08	83,36	90,91	45,65	73,75	74,25	77,82	62,50	43,01
216	87,68	83,36	90,91	45,65	75,65	74,25	77,82	62,50	43,01
217	86,19	83,36	90,91	45,65	74,63	74,25	77,82	62,50	42,98
218	86,20	83,36	90,92	45,65	75,65	74,25	77,89	62,50	42,98
219	86,41	83,36	90,92	45,65	76,95	74,25	77,89	62,50	42,98
220	86,97	83,36	90,91	45,65	76,95	74,25	77,87	62,50	42,98
221	86,07	83,36	90,91	45,65	72,94	74,25	77,87	62,50	42,98
222	86,31	83,36	90,91	45,65	72,47	74,25	77,94	62,50	42,98
223	85,02	83,36	90,91	45,65	74,12	74,25	77,94	62,50	42,98
224	85,02	83,36	90,91	45,65	73,91	74,25	77,84	62,50	42,98
225	85,84	83,36	90,91	45,65	71,82	74,25	77,84	62,50	42,98
226	85,63	83,36	90,90	45,65	73,39	74,25	77,85	62,50	42,98
227	85,87	83,36	90,90	45,63	77,32	74,25	77,85	62,50	42,99
228	85,60	83,36	90,91	45,63	76,40	74,25	77,87	62,50	42,99
229	85,55	83,36	90,91	45,63	75,78	74,25	77,87	62,50	42,99
230	85,86	83,36	90,91	45,63	75,14	74,25	78,02	62,50	42,99
231	86,80	83,36	90,92	45,63	74,19	94,25	78,02	62,50	42,99
232	86,85	83,36	90,92	45,67	73,92	94,25	77,85	62,50	42,99
233	87,55	83,36	90,92	45,67	67,65	94,25	77,85	62,50	42,99
234	87,49	83,36	90,92	45,67	67,61	94,25	77,94	62,50	42,99
235	85,95	83,36	90,92	45,67	76,15	94,25	77,94	62,50	42,99
236	85,71	83,36	90,93	45,67	76,20	94,25	77,93	62,50	42,99

237	84,92	83,36	90,93	45,63	73,40	94,25	77,93	62,50	42,98
238	86,46	83,36	90,90	45,63	74,28	94,25	77,82	62,50	42,98
239	84,53	83,36	90,90	45,63	75,36	94,25	77,82	62,50	42,98
240	85,89	83,36	90,92	45,63	72,47	94,25	78,01	62,50	42,98
241	86,57	83,36	90,92	45,63	79,47	94,25	78,01	62,50	42,98
242	85,60	83,36	90,92	45,66	78,22	94,25	78,01	62,50	42,96
243	85,88	83,36	90,92	45,66	67,70	94,25	77,79	62,50	42,96
244	86,73	83,36	90,92	45,66	68,46	94,25	77,79	62,50	42,96
245	87,05	83,36	90,92	45,66	68,68	94,25	77,79	62,50	42,96
246	87,40	83,36	90,92	45,66	78,04	94,25	77,90	62,50	42,96
247	87,66	83,36	90,92	45,68	78,19	94,25	77,90	62,50	43,00
248	85,68	83,36	90,92	45,68	77,89	94,25	77,79	62,50	43,00
249	84,13	83,36	90,92	45,68	72,61	94,25	77,79	62,50	43,00
250	84,30	83,36	90,91	45,68	74,29	94,25	77,92	62,50	43,00
251	85,83	83,36	90,91	45,68	81,05	94,25	77,92	62,50	43,00
252	86,67	83,36	90,91	45,65	79,08	94,25	77,94	62,50	42,97
253	85,12	83,36	90,91	45,65	71,57	94,25	77,94	62,50	42,97
254	86,42	83,36	90,91	45,65	70,87	94,25	77,82	62,50	42,97
255	86,83	83,36	90,91	45,65	73,07	94,25	77,82	62,50	42,97
256	86,00	83,36	90,91	45,65	71,97	94,25	77,83	62,50	42,97
257	87,18	83,36	90,91	45,64	76,27	94,25	77,83	62,50	42,98
258	87,71	83,36	90,91	45,64	77,01	94,25	77,92	62,50	42,98
259	87,03	83,36	90,91	45,64	75,55	94,25	77,92	62,50	42,98
260	85,82	83,36	90,91	45,64	75,52	94,25	77,86	62,50	42,98
261	85,82	83,36	90,91	45,64	72,25	94,25	77,86	62,50	42,98
262	85,44	83,36	90,91	45,60	72,83	94,25	77,91	62,50	42,96
263	86,46	83,36	90,91	45,60	75,73	94,25	77,91	62,50	42,96
264	86,98	83,36	90,91	45,60	75,40	94,25	77,82	62,50	42,96
265	86,19	83,36	90,91	45,60	72,15	94,25	77,82	62,50	42,96
266	86,83	83,36	90,91	45,60	71,73	74,25	77,84	62,50	42,96
267	86,40	83,36	90,91	45,62	76,92	74,25	77,84	62,50	42,97
268	86,50	83,36	90,91	45,62	76,36	74,25	77,83	62,50	42,97
269	86,55	83,36	90,91	45,62	76,51	74,25	77,83	62,50	42,97
270	86,37	83,35	90,91	45,62	76,43	74,25	77,77	62,50	42,97
271	86,42	83,36	90,91	45,62	76,73	74,25	77,77	62,50	42,97
272	85,50	83,36	90,91	45,64	76,01	74,25	77,83	62,50	42,98
273	85,37	83,36	90,91	45,64	78,65	74,25	77,83	62,50	42,98
274	85,82	83,36	90,91	45,64	79,50	74,25	77,91	62,50	42,98
275	86,46	83,36	90,91	45,64	77,05	74,25	77,91	62,50	42,98
276	86,45	83,36	90,91	45,64	76,64	74,25	77,88	62,50	42,98
277	86,56	83,36	90,91	45,65	72,87	74,25	77,88	62,50	42,98
278	87,90	83,36	90,91	45,65	72,88	74,25	77,91	62,50	42,98
279	86,52	83,36	90,91	45,65	73,02	74,25	77,91	62,50	42,98
280	85,95	83,36	90,91	45,65	71,90	74,25	77,84	62,50	42,98
281	87,59	83,36	90,91	45,65	71,74	74,25	77,84	62,50	42,98
282	86,91	83,36	90,92	45,65	72,43	74,25	77,88	62,50	42,98
283	86,87	83,36	90,92	45,65	74,15	94,25	77,88	62,50	42,98
284	85,85	83,36	90,91	45,65	75,39	94,25	77,84	62,50	42,98
285	86,40	83,36	90,91	45,65	73,54	94,25	77,84	62,50	42,98
286	85,79	83,36	90,91	45,65	74,86	94,25	77,87	62,50	42,98
287	85,53	83,36	90,91	45,65	76,37	94,25	77,87	62,50	42,93
288	86,86	83,36	90,91	45,65	76,89	94,25	77,86	62,50	42,93
289	86,44	83,36	90,91	45,65	76,02	94,25	77,86	62,50	42,93
290	85,59	83,35	90,91	45,65	74,86	94,25	77,89	62,50	42,93
291	86,52	83,36	90,91	45,65	74,74	74,25	77,89	62,50	42,93
292	86,43	83,36	90,91	45,66	75,48	74,25	77,77	62,50	42,98
293	84,17	83,36	90,91	45,66	72,91	74,25	77,77	62,50	42,98

294	84,17	83,36	90,92	45,66	73,42	74,25	77,95	62,50	42,98
295	87,03	83,36	90,91	45,66	81,04	74,25	77,95	62,50	42,98
296	87,03	83,36	90,91	45,66	80,37	74,25	77,80	62,50	42,98
297	86,68	83,36	90,91	45,66	69,64	74,25	77,80	62,50	42,98
298	86,64	83,36	90,91	45,66	69,64	74,25	77,89	62,50	42,98
299	86,22	83,36	90,91	45,66	76,83	74,25	77,89	62,50	42,98
300	86,22	83,36	90,92	45,66	76,86	74,25	77,92	62,50	42,98
301	87,07	83,36	90,92	45,66	72,80	74,25	77,92	62,50	42,98
302	87,25	83,36	90,91	45,63	72,80	74,25	77,89	62,50	42,99
303	85,27	83,36	90,91	45,63	70,82	74,25	77,89	62,50	42,99
304	85,62	83,36	90,91	45,63	71,11	74,25	77,89	62,50	42,99
305	87,74	83,36	90,91	45,63	74,29	74,25	77,89	62,50	42,99
306	85,45	83,36	90,91	45,63	74,51	74,25	78,04	62,50	42,99
307	85,26	83,35	90,91	45,64	72,70	74,25	78,04	62,50	42,98
308	85,08	83,35	90,91	45,64	75,98	74,25	77,86	62,50	42,98
309	85,98	83,36	90,91	45,64	69,14	74,25	77,86	62,50	42,98
310	85,69	83,36	90,91	45,64	69,29	74,25	77,87	62,50	42,98
311	86,90	83,36	90,91	45,64	76,26	74,25	77,87	62,50	42,98
312	84,65	83,36	90,91	45,66	76,52	74,25	77,84	62,50	42,99
313	85,71	83,36	90,91	45,66	75,65	74,25	77,84	62,50	42,99
314	86,47	83,36	90,91	45,66	77,67	74,25	77,93	62,50	42,99
315	85,94	83,36	90,91	45,66	78,05	74,25	77,93	62,50	42,99
316	85,77	83,36	90,91	45,66	75,16	74,25	77,83	62,50	42,99
317	85,83	83,36	90,91	45,66	71,22	74,25	77,83	62,50	43,02
318	84,52	83,36	90,91	45,66	72,03	74,25	77,87	62,50	43,02
319	85,78	83,36	90,91	45,66	76,73	74,25	77,87	62,50	43,02
320	87,08	83,36	90,91	45,66	77,92	74,25	77,90	62,50	43,02
321	86,18	83,36	90,91	45,66	74,36	74,25	77,90	62,50	43,02
322	86,36	83,36	90,91	45,57	73,25	74,25	77,91	62,50	42,95
323	87,11	83,36	90,91	45,57	72,76	74,25	77,91	62,50	42,95
324	86,89	83,36	90,91	45,57	72,61	74,25	77,88	62,50	42,95
325	87,40	83,36	90,91	45,57	71,43	74,25	77,88	62,50	42,95
326	87,46	83,36	90,91	45,57	73,14	74,25	77,96	62,50	42,95
327	86,25	83,36	90,91	45,64	73,90	74,25	77,96	62,50	42,98
328	85,46	83,36	90,91	45,64	73,86	74,25	77,80	62,50	42,98
329	85,83	83,35	90,91	45,64	71,51	74,25	77,80	62,50	42,98
330	87,03	83,36	90,91	45,64	72,17	74,25	77,83	62,50	42,98
331	87,03	83,36	90,91	45,64	79,13	74,25	77,83	62,50	42,98
332	87,06	83,36	90,90	45,63	78,04	74,25	77,79	62,50	42,95
333	86,33	83,36	90,91	45,63	76,34	74,25	77,95	62,50	42,95
334	85,28	83,36	90,91	45,63	76,31	74,25	77,95	62,50	42,95
335	86,88	83,35	90,91	45,63	78,65	74,25	77,95	62,50	42,95
336	86,42	83,36	90,91	45,63	70,74	74,25	77,94	62,50	42,95
337	86,56	83,36	90,91	45,66	69,44	74,25	77,94	62,50	42,98
338	86,86	83,36	90,91	45,66	71,14	74,25	77,82	62,50	42,98
339	87,42	83,36	90,91	45,66	71,75	74,25	77,82	62,50	42,98
340	86,80	83,36	90,92	45,66	71,05	74,25	77,88	62,50	42,98
341	87,21	83,36	90,92	45,66	75,86	74,25	77,88	62,50	42,98
342	86,48	83,36	90,91	45,67	76,40	74,25	77,94	62,50	42,98
343	84,07	83,36	90,91	45,67	73,17	74,25	77,94	62,50	42,98
344	85,08	83,36	90,91	45,67	73,79	74,25	77,86	62,50	42,98
345	85,20	83,36	90,91	45,67	72,38	74,25	77,86	62,50	42,98
346	85,58	83,36	90,91	45,67	71,52	74,25	77,84	62,50	42,98
347	85,54	83,36	90,91	45,64	75,03	74,25	77,84	62,50	42,98
348	85,39	83,36	90,91	45,64	75,59	74,25	77,85	62,50	42,98
349	85,35	83,36	90,91	45,64	76,36	74,25	77,85	62,50	42,98
350	85,47	83,36	90,90	45,64	77,38	74,25	77,91	62,50	42,98

351	85,93	83,35	90,91	45,65	77,24	74,25	77,91	62,50	42,98
352	86,56	83,35	90,91	45,65	77,14	74,25	77,97	62,50	42,98
353	87,01	83,36	90,91	45,65	73,61	74,25	77,97	62,50	42,98
354	86,49	83,36	90,91	45,65	72,68	74,25	77,87	62,50	42,98
355	86,56	83,36	90,91	45,65	71,39	74,25	77,87	62,50	42,98
356	84,49	83,36	90,91	45,65	71,82	74,25	77,81	62,50	42,98
357	85,23	83,36	90,91	45,65	75,45	74,25	77,81	62,50	42,99
358	85,76	83,36	90,91	45,65	77,31	74,25	77,90	62,50	42,99
359	85,71	83,36	90,91	45,65	79,42	74,25	77,90	62,50	42,99
360	85,28	83,36	90,91	45,65	77,59	74,25	77,77	62,50	42,99
361	85,72	83,36	90,91	45,66	73,68	74,25	77,80	62,50	43,00
362	85,85	83,36	90,91	45,66	74,05	94,25	77,80	62,50	43,00
363	86,18	83,36	90,91	45,66	78,79	94,25	77,80	62,50	43,00
364	85,62	83,36	90,91	45,66	77,10	94,25	77,93	62,50	43,00
365	84,58	83,36	90,91	45,66	76,15	94,25	77,93	62,50	43,00
366	84,58	83,35	90,92	45,66	76,65	94,25	77,87	62,50	43,00
367	86,96	83,35	90,92	45,67	71,93	94,25	77,87	62,50	42,98
368	86,96	83,36	90,92	45,67	71,93	94,25	77,95	62,50	42,98
369	86,44	83,36	90,92	45,67	72,97	94,25	77,95	62,50	42,98
370	85,15	83,36	90,91	45,67	73,40	94,25	77,86	62,50	42,98
371	87,04	83,36	90,91	45,67	70,09	94,25	77,86	62,50	42,98
372	86,98	83,36	90,91	45,66	70,49	94,25	77,86	62,50	42,99
373	85,73	83,35	90,91	45,66	73,04	94,25	77,86	62,50	42,99
374	86,86	83,36	90,91	45,66	73,10	94,25	77,83	62,50	42,99
375	88,36	83,36	90,91	45,66	76,78	94,25	77,83	62,50	42,99
376	86,62	83,35	90,90	45,66	75,78	94,25	77,79	62,50	42,99
377	86,56	83,35	90,90	45,64	75,16	94,25	77,79	62,50	42,94
378	86,30	83,35	90,90	45,64	76,68	94,25	77,83	62,50	42,94
379	85,85	83,35	90,90	45,64	78,78	94,25	77,83	62,50	42,94
380	86,19	83,35	90,90	45,64	77,47	94,25	77,77	62,50	42,94
381	85,81	83,36	90,90	45,64	75,71	94,25	77,77	62,50	42,94
382	87,02	83,36	90,92	45,66	74,76	94,25	77,93	62,50	42,98
383	87,17	83,36	90,92	45,66	77,87	94,25	77,93	62,50	42,98
384	85,83	83,36	90,93	45,66	76,78	94,25	77,92	62,50	42,98
385	86,64	83,36	90,93	45,66	70,38	94,25	77,92	62,50	42,98
386	86,90	83,36	90,91	45,66	71,49	94,25	77,86	62,50	42,98
387	88,56	83,36	90,91	45,67	72,91	94,25	77,92	62,50	42,98
388	87,45	83,36	90,91	45,67	72,67	94,25	77,92	62,50	42,98
389	86,23	83,35	90,91	45,67	73,68	94,25	77,81	62,50	42,98
390	85,80	83,35	90,91	45,67	71,87	94,25	77,81	62,50	42,98
391	85,58	83,35	90,91	45,67	72,89	94,25	77,81	62,50	42,98
392	85,17	83,35	90,92	45,62	76,21	94,25	77,91	62,50	42,97
393	84,71	83,35	90,92	45,62	76,42	94,25	77,91	62,50	42,97
394	85,50	83,36	90,91	45,62	75,89	94,25	77,85	62,50	42,97
395	86,40	83,35	90,91	45,62	71,56	94,25	77,87	62,50	42,97
396	86,78	83,35	90,91	45,62	70,90	94,25	77,87	62,50	42,97
397	85,95	83,35	90,91	45,64	74,62	74,25	77,87	62,50	42,97
398	85,69	83,35	90,91	45,64	73,30	74,25	77,82	62,50	42,97
399	86,38	83,35	90,91	45,64	75,12	74,25	77,82	62,50	42,97
400	86,36	83,35	90,91	45,64	75,34	74,25	77,86	62,50	42,97
401	84,41	83,35	90,91	45,64	77,25	74,25	77,86	62,50	42,97
402	84,41	83,35	90,91	45,63	77,05	74,25	77,82	62,50	42,98
403	86,79	83,35	90,91	45,63	76,62	74,25	77,82	62,50	42,98
404	86,06	83,35	90,91	45,63	75,95	74,25	77,86	62,50	42,98
405	87,45	83,35	90,91	45,63	75,80	74,25	77,86	62,50	42,98
406	87,00	83,35	90,91	45,63	75,79	74,25	77,99	62,50	42,98
407	87,00	83,35	90,91	45,62	72,98	74,25	77,99	62,50	43,00

408	84,78	83,35	90,90	45,62	73,35	74,25	77,88	62,50	43,00
409	85,84	83,35	90,91	45,62	68,17	74,25	77,88	62,50	43,00
410	86,54	83,35	90,91	45,62	69,95	74,25	77,87	62,50	43,00
411	86,68	83,35	90,91	45,62	72,80	74,25	77,87	62,50	43,00
412	86,51	83,35	90,91	45,59	72,21	74,25	77,82	62,50	42,95
413	87,71	83,35	90,91	45,59	72,54	74,25	77,82	62,50	42,95
414	87,02	83,35	90,91	45,59	73,56	94,25	77,82	62,50	42,95
415	87,13	83,35	90,91	45,59	74,77	94,25	77,81	62,50	42,95
416	85,93	83,35	90,91	45,59	74,93	94,25	77,81	62,50	42,95
417	87,23	83,35	90,91	45,62	74,83	94,25	77,81	62,50	42,97
418	85,69	83,35	90,92	45,62	76,67	94,25	77,83	62,50	42,97
419	86,49	83,35	90,92	45,62	75,52	94,25	77,83	62,50	42,97
420	85,33	83,35	90,92	45,62	76,89	94,25	77,82	62,50	42,97
421	85,78	83,35	90,92	45,62	74,74	94,25	77,82	62,50	42,97
422	85,50	83,35	90,90	45,65	75,76	74,25	77,83	62,50	42,98
423	87,10	83,35	90,91	45,65	74,50	74,25	77,83	62,50	42,98
424	86,32	83,35	90,91	45,65	74,75	74,25	77,82	62,50	42,98
425	86,43	83,35	90,91	45,65	72,81	74,25	77,82	62,50	42,98
426	86,67	83,35	90,91	45,65	74,35	74,25	77,92	62,50	42,98
427	85,56	83,35	90,91	45,62	74,67	74,25	77,92	62,50	42,97
428	86,71	83,35	90,91	45,62	74,90	74,25	77,89	62,50	42,97
429	85,24	83,35	90,91	45,62	71,37	74,25	77,89	62,50	42,97
430	86,26	83,35	90,90	45,62	70,42	74,25	77,77	62,50	42,97
431	86,48	83,35	90,90	45,62	73,52	74,25	77,77	62,50	42,97
432	85,87	83,35	90,91	45,64	72,64	74,25	77,93	62,50	42,98
433	86,14	83,35	90,91	45,64	77,55	74,25	77,93	62,50	42,98
434	86,89	83,35	90,92	45,64	78,11	74,25	77,89	62,50	42,98
435	85,89	83,36	90,91	45,64	70,69	74,25	77,89	62,50	42,98
436	85,16	83,36	90,91	45,64	68,98	74,25	77,74	62,50	42,98
437	86,46	83,36	90,91	45,62	71,65	74,25	77,74	62,50	42,95
438	86,46	83,36	90,91	45,62	73,37	74,25	77,92	62,50	42,95
439	86,54	83,35	90,91	45,62	78,88	74,25	77,92	62,50	42,95
440	86,65	83,35	90,91	45,62	79,32	74,25	77,76	62,50	42,95
441	86,65	83,35	90,90	45,62	71,10	74,25	77,76	62,50	42,95
442	86,65	83,35	90,90	45,65	71,01	74,25	77,81	62,50	42,97
443	86,67	83,35	90,91	45,65	77,08	74,25	77,91	62,50	42,97
444	87,24	83,35	90,91	45,65	77,09	74,25	77,91	62,50	42,97
445	86,72	83,35	90,91	45,65	75,49	74,25	77,91	62,50	42,97
446	85,54	83,35	90,91	45,65	70,53	74,25	77,92	62,50	42,97
447	87,94	83,35	90,91	45,64	70,96	74,25	77,92	62,50	42,98
448	86,74	83,35	90,90	45,64	72,37	74,25	77,69	62,50	42,98
449	85,20	83,35	90,90	45,64	70,06	74,25	77,69	62,50	42,98
450	85,40	83,35	90,91	45,64	69,72	74,25	77,80	62,50	42,98
451	85,63	83,35	90,91	45,64	81,55	74,25	77,80	62,50	42,98
452	85,94	83,35	90,91	45,66	81,36	74,25	77,83	62,50	43,00
453	84,46	83,35	90,91	45,66	75,96	74,25	77,83	62,50	43,00
454	86,21	83,35	90,91	45,66	75,69	74,25	77,92	62,50	43,00
455	85,78	83,35	90,91	45,66	75,16	74,25	77,92	62,50	43,00
456	86,62	83,35	90,91	45,66	73,63	74,25	77,92	62,50	43,00
457	85,75	83,35	90,91	45,62	72,07	94,25	77,92	62,50	43,02
458	85,27	83,36	90,97	45,62	71,37	94,25	77,61	62,50	43,02
459	87,68	83,39	91,16	45,62	72,09	94,25	77,58	62,50	43,02
460	87,73	83,44	91,16	45,62	73,61	94,25	77,58	62,50	43,02
461	87,73	83,49	91,24	45,62	85,52	94,25	77,52	62,50	43,02
462	86,45	83,55	91,24	45,67	84,62	94,25	77,52	62,50	43,00
463	88,01	83,59	91,29	45,67	84,65	94,25	77,52	62,50	43,00
464	87,73	83,63	91,29	45,67	88,40	94,25	77,62	62,50	43,00

465	87,96	83,66	91,29	45,67	80,56	94,25	77,62	62,50	43,00
466	86,63	83,68	91,31	45,67	80,82	94,25	77,53	62,50	43,00
467	86,97	83,70	91,31	45,63	71,36	94,25	77,53	62,50	42,95
468	89,08	83,71	91,35	45,63	72,44	94,25	77,59	62,50	42,95
469	88,51	83,72	91,38	45,63	76,52	94,25	77,58	62,50	42,95
470	88,56	83,73	91,38	45,63	74,50	94,25	77,58	62,50	42,95
471	87,89	83,74	91,38	45,63	71,92	94,25	77,58	62,50	42,95
472	88,44	83,75	91,40	45,64	74,44	94,25	77,47	62,50	42,90
473	88,82	83,76	91,44	45,64	75,01	94,25	77,47	62,50	42,90
474	88,55	83,78	91,44	45,64	74,54	74,25	77,51	62,50	42,90
475	88,55	83,79	91,44	45,64	79,27	74,25	77,51	62,50	42,90
476	90,13	83,80	91,46	45,64	79,51	74,25	77,59	62,50	42,90
477	88,76	83,81	91,46	45,62	76,24	74,25	77,59	62,50	42,97
478	88,53	83,82	91,49	45,62	74,91	74,25	77,55	62,50	42,97
479	88,66	83,83	91,52	45,62	71,27	74,25	77,55	62,50	42,97
480	88,55	83,84	91,52	45,62	71,45	74,25	77,42	62,50	42,97
481	89,35	83,85	91,55	45,62	73,46	74,25	77,42	62,50	42,97
482	88,91	83,86	91,55	45,65	74,63	94,25	77,45	62,50	42,97
483	87,63	83,87	91,55	45,65	79,41	94,25	77,45	62,50	42,97
484	88,04	83,88	91,58	45,65	78,73	94,25	77,46	62,50	42,97
485	88,59	83,89	91,58	45,65	78,73	94,25	77,46	62,50	42,97
486	89,04	83,90	91,61	45,65	78,37	94,25	77,46	62,50	42,97
487	87,87	83,91	91,63	45,67	76,13	94,25	77,45	62,50	42,96
488	89,12	83,92	91,63	45,67	75,74	94,25	77,45	62,50	42,96
489	87,32	83,92	91,66	45,67	77,28	94,25	77,43	62,50	42,96
490	88,71	83,93	91,66	45,67	76,89	94,25	77,43	62,50	42,96
491	89,21	83,94	91,66	45,67	78,48	94,25	77,43	62,50	42,96
492	87,38	83,95	91,69	45,67	77,14	94,25	77,57	62,50	42,99
493	89,12	83,95	91,72	45,67	76,69	94,25	77,57	62,50	42,99
494	88,50	83,96	91,72	45,67	78,51	94,25	77,42	62,50	42,99
495	88,96	83,97	91,72	45,67	70,50	94,25	77,42	62,50	42,99
496	88,85	83,98	91,74	45,67	70,57	94,25	77,51	62,50	42,99
497	87,57	83,98	91,76	45,65	76,97	94,25	77,51	62,50	43,00
498	87,67	83,99	91,76	45,65	77,09	94,25	77,51	62,50	43,00
499	88,76	83,99	91,80	45,65	75,13	74,25	77,51	62,50	43,00
500	88,39	84,00	91,80	45,65	75,04	74,25	77,39	62,50	43,00
501	89,20	84,01	91,82	45,65	74,03	74,25	77,47	62,50	43,07
502	88,17	84,01	91,82	45,65	73,48	74,25	77,47	62,50	43,07
503	87,93	84,02	91,84	45,65	78,14	74,25	77,47	62,50	43,07
504	88,45	84,03	91,84	45,65	75,83	74,25	77,55	62,50	43,07
505	88,89	84,03	91,84	45,65	76,04	74,25	77,55	62,50	43,07
506	87,20	84,03	91,85	45,65	75,59	74,25	77,43	62,50	43,07
507	87,85	84,04	91,85	45,66	71,83	84,25	77,43	62,50	42,99
508	87,67	84,04	91,88	45,66	73,23	84,25	77,49	62,50	42,99
509	86,68	84,05	91,89	45,66	78,42	84,25	77,49	62,50	42,99
510	87,81	84,05	91,89	45,66	78,57	84,25	77,55	62,50	42,99
511	87,83	84,05	91,90	45,66	76,74	84,25	77,55	62,50	42,99
512	87,93	84,06	91,90	45,64	75,75	84,25	77,42	62,50	42,98
513	89,23	84,06	91,90	45,64	73,14	84,25	77,42	62,50	42,98
514	89,23	84,07	91,93	45,64	72,84	84,25	77,53	62,50	42,98
515	88,81	84,07	91,94	45,64	77,34	84,25	77,53	62,50	42,98
516	89,33	84,08	91,94	45,64	77,98	84,25	77,45	62,50	42,98
517	88,89	84,08	91,95	45,63	73,33	84,25	77,45	62,50	42,96
518	88,89	84,08	91,95	45,63	72,91	84,25	77,51	62,50	42,96
519	89,68	84,09	91,97	45,63	76,01	84,25	77,51	62,50	42,96
520	88,27	84,09	91,97	45,63	76,01	84,25	77,45	62,50	42,96
521	88,03	84,09	91,97	45,63	71,91	84,25	77,45	62,50	42,96

522	88,55	84,09	91,99	45,64	73,07	84,25	77,45	62,50	42,98
523	88,33	84,10	91,99	45,64	76,15	84,25	77,45	62,50	42,98
524	88,22	84,10	92,00	45,64	75,49	84,25	77,51	62,50	42,98
525	87,59	84,10	92,00	45,64	75,74	84,25	77,51	62,50	42,98
526	88,07	84,11	92,03	45,64	75,61	84,25	77,34	62,50	42,98
527	88,69	84,11	92,04	45,66	73,28	84,25	77,34	62,50	42,96
528	88,94	84,11	92,04	45,66	73,96	84,25	77,53	62,50	42,96
529	89,01	84,11	92,04	45,66	80,99	84,25	77,53	62,50	42,96
530	88,24	84,12	92,05	45,66	80,76	84,25	77,43	62,50	42,96
531	88,01	84,12	92,05	45,66	72,63	84,25	77,43	62,50	42,96
532	86,52	84,12	92,07	45,66	73,26	84,25	77,58	62,50	42,95
533	88,65	84,12	92,07	45,66	78,20	84,25	77,58	62,50	42,95
534	88,37	84,13	92,08	45,66	79,55	84,25	77,53	62,50	42,95
535	88,89	84,13	92,09	45,66	70,92	84,25	77,58	62,50	42,95
536	88,94	84,13	92,09	45,66	71,14	84,25	77,58	62,50	42,95
537	88,70	84,13	92,09	45,66	72,99	84,25	77,58	62,50	42,98
538	88,68	84,13	92,10	45,66	71,68	84,25	77,49	62,50	42,98
539	88,53	84,13	92,11	45,66	71,86	84,25	77,49	62,50	42,98
540	87,86	84,13	92,11	45,66	71,88	84,25	77,49	62,50	42,98
541	87,17	84,13	92,11	45,66	78,59	84,25	77,49	62,50	42,98
542	87,92	84,13	92,11	45,66	79,19	84,25	77,41	62,50	42,99
543	87,79	84,13	92,13	45,66	78,45	84,25	77,41	62,50	42,99
544	87,63	84,13	92,13	45,66	77,78	84,25	77,51	62,50	42,99
545	86,32	84,13	92,13	45,66	81,55	84,25	77,51	62,50	42,99
546	87,97	84,14	92,13	45,66	79,31	84,25	77,34	62,50	42,99
547	89,56	84,14	92,14	45,61	75,99	84,25	77,57	62,50	42,98
548	89,56	84,14	92,14	45,61	73,27	84,25	77,57	62,50	42,98
549	87,40	84,14	92,15	45,61	79,39	84,25	77,57	62,50	42,98
550	88,32	84,14	92,15	45,61	70,66	84,25	77,62	62,50	42,98
551	88,32	84,14	92,15	45,61	70,66	84,25	77,62	62,50	42,98

Tabla 4.2 Datos de la Planta para el controlador por Flujo

FECHA DE ENTREGA

El proyecto de grado “Modelo de Control Predictivo en ambiente DeltaV para mejorar u optimizar el sistema de bombeo de la estación #1, Lago Agrio ” fue entregado a la facultad de Ingeniería Electrónica y reposa en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí, a _____ del 2007

Coordinador de Carrera

El Secretario Académico

Ing. Victor Proaño

Ab. Jorge Carvajal R.

Elaborado por:

Franklin Edilberto Verdezoto Núñez