

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CONTROL DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PASTA CORTA

Tutor académico: Prof. Berenice Blanco

Tutor Industrial: Ing. Enrique Vásquez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al título
de Ingeniero Químico
por la Br. Fabiola Ramírez B.

Caracas Mayo 2003

Caracas, Mayo 2003

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el trabajo especial de Grado presentado por la Bachiller Fabiola Ramírez, titulado:

“Control de la temperatura y la humedad de una línea de producción de pasta corta”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Leonardo Oropeza
Jurado

Prof. Johnny Vásquez
Jurado

Profra. Berenice Blanco
Tutora

Ing. Enrique Vásquez
Tutor

DEDICATORIA

A toda mi querida familia, mis padres Gladys y Gerardo, mi hermano Javier, mis tías Sunilda y Lourdes, mis abuela Elena.

A mi abuela Aurora, mi abuelo Francisco, mi abuelo Modesto y mi tío Andrés que aunque no estén físicamente conmigo están en mi corazón.

A Roberto Lares.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Por estar siempre a mi lado.

A mis padres, Gladys y Gerardo, mi hermano Javier, mis tías Sunilda y Lourdes, mi abuela Elena y mi abuelo Francisco, por su apoyo, comprensión y cariño.

A Roberto Lares por su ayuda, amor y por creer siempre en mí.

Al Ingeniero Enrique Vásquez por depositar su confianza en mí para la realización de este proyecto y quién en todo momento estuvo dispuesto a ayudarme.

A la empresa Pastas Capri C.A., a todo su personal obrero y administrativo, por brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo especial de grado.

A la profesora Berenice Blanco por su paciencia y ayuda para la realización de este proyecto.

A los profesores Mariluz Alonso, José Romero y Simón Morales por estar dispuestos a prestarme ayuda.

A Ruth, Héctor, Arturo, Leopoldo, Leonardo, Rony, Aníbal, Bartolo, Juan Rojas y al señor Ricardo Ramírez por toda su ayuda.

A la Fundación Pedro Russo Ferrer en la profesora Nilda Díaz, por su valioso apoyo y colaboración.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron a la realización de este trabajo, a todos ellos, muchas gracias.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
I.1 Planteamiento del problema	3
I.2 Objetivos del Proyecto	5
I.2.1 Objetivo General	5
I.2.2 Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
II.1 Proceso de elaboración de la pasta	6
II.2 Secado de sólidos	8
II.2.1 Secado	8
II.2.2 Aplicación de la psicrometría al secado	8
II.2.3 Equipo para el secado de sólidos	13
II.3 Automatización de Procesos	16
II.4 Definición de Controlador Lógico Programable (PLC)	18
II.4.1 Funciones básicas de un PLC	19
II.4.2 Aplicación de los PLC's	19
II.4.3 ¿Por Qué emplear un PLC en el control de procesos?	20
II.4.4 Constitución básica de un PLC	22
II.5 Sistema SCADA-MMI	29
II.6 Lenguajes de Programación	31
II.7 Teoría básica del Control de Procesos	33
II.7.1 Válvulas de Control	34
II.7.2 Controladores por retroalimentación o feedback	34
II.8 Ajuste de los controladores feedback	35
II.8.1 Métodos de ajuste	36
II.9 Los lazos de regulación aplicados aun proceso	39
II.10 Definición de Términos	43
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	46
CAPÍTULO IV. ESTUDIO DE INGENIERÍA CONCEPTUAL	51
IV.1 Descripción del proceso en estudio	51
IV.2 Descripción del Tablero de comando de Arranque	61
IV.3 Descripción del panel de control (MPF2)	62
IV.4 activación de las funciones del MPF2	64
IV.4.1 Función Automático-Manual	64
IV.4.2 Acción Bumpless	65
IV.4.3 Fijación del set-point	65
IV.4.4 Fijación de las alarmas AL1 y AL2 de la sección delta	66

IV.4.5 Visualización y modificacoón de los Parámetros de Regulación	66
IV.4.6 Visualización del valor de salida	69
IV.5 Descripción y estrategias del sistema de control a sustituir	69
IV.6 Interfaz humana utilizada	74
IV.7 Activación de las alarmas	74
IV.8 Secuencia de arranque y parada	74
IV.9 Diagnóstico del proceso actual	75

CAPÍTULO V. ESTUDIO DE INGENIERÍA DE DETALLES **77**

V.1 Informe de Levantamiento de Campo	77
V.1.1 Instrumentación	77
V.1.2 Electricidad	81
V.1.3 Sistemas	82
V.2 Disciplina de instrumentación	83
V.2.1 Diagrama de Instrumentación y Tuberías del nuevo sistema	83
V.2.2 Lista de Instrumentos actualizada	87
V.2.3 Ubicación de los Instrumentos	88
V.2.4 Funcionamiento	89
V.2.5 Especificaciones de los equipos	94
V.2.6 Diagramas de detalles de Instalación	94
V.3 Disciplina de Aplicación	98
V.3.1 Filosofía de Operación del nuevo sistema de Control	98
V.3.2 Estrategias de Control	99
V.3.3 Regulación del proceso de secado	100
V.3.4 Pantalla de Control	102
V.3.5 Control de la Humedad a través del valor de ΔT	103
V.3.6 Sistema de Alarmas	104
V.3.7 Parámetros del Controlador	104
V.3.8 Secuencia de Arranque y Parada	105
V.4 Disciplina Eléctrica	122
V.4.1 Suministro de Potencia	122
V.4.2 Actualización de Planos Eléctricos	123
V.5 Disciplina de Sistemas	123
V.5.1 Criterio de selección de señales del PLC	123
V.5.2 Criterios de Configuración y programación del software PI	124
V.5.3 Direccionamiento de las palabras	126
V.5.4 Lista de variables asociadas a la construcción del controlador Para el rotante 1	126
V.5.5 Lista de variables asociadas a los valores de PV y SP del Proceso para el rotante 1	128
V.5.6 Lista de variables asociadas alas ecuaciones para los cálculos De PV- ΔT y SP-%HR para rotante 1	129

V.5.7 Entradas-salidas I/O para la línea de producción completa	131
V.5.8 Lista de variables asociadas a las alarmas de toda la línea de producción	132
V.5.9 Transferencia del programa (PC $\Leftrightarrow$ PLC)	133
V.5.10 Especificaciones de la consola	134
V.6 Especificaciones generales para la construcción	134
V.6.1 Cableado para llevar la señal de la sonda al PLC	135
V.6.2 Comprobación de la señal	135
V.6.3 Pruebas a los elementos finales de control	136
V.6.4 Detalles de instalación por equipo	137

CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN **138**

VI.1 Comprobación de los cálculos para %HR (SP) y ΔT (PV)	138
VI.2 Prueba Escalón del proceso	140
VI.3 Respuesta del Proceso ante el nuevo control	141
VI.4 Respuesta de los elementos finales de control	147

BIBLIOGRAFÍA **152**

ANEXOS **154**

Anexo 1. Tabla de Mollier utilizada por el módulo MPF2	155
Anexo 2. Diagrama de Instrumentación (DTI) para el sistema MPF2 Suministrado por la empresa	157
Anexo 3. Hojas de simbología eléctrica para la interpretación de los planos eléctricos	159
Anexo 4. Hojas de descripción de estrategias de control bajo la nomenclatura SAMA	163
Anexo 5. Cálculos psicrométricos para la determinación de ΔT (SP) y %HR (set point)	170
Anexo 6. Tabla de Relaciones psicrométricas para el sistema aire-agua	176
Anexo 7. grafica de verificación de los valores calculados a través de una carta psicrométrica	178
Anexo 8. Planos eléctricos actualizados	180
Anexo 9. Lista general de entradas/salidas para la línea de producción	186
Anexo10. Programa introducido en el PLC para el control de la Temperatura y la humedad relativa	192
Anexo 11. Programa de interconexión entre las variables del PLC y la consola (pantalla de control)	205
Anexo 12. Vista aérea de la planta Pastas Capri C.A.	218
Anexo 13. Vista aérea de la línea 3 de producción de pasta corta	220
Anexo 14. Vista lateral de la línea 3 de producción de pasta corta	222

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fórmulas de ajuste POMTM de Ziegler – Nichols_____	39
Tabla 2. Descripción del panel frontal_____	63
Tabla 3. Teclas y su función_____	64
Tabla 4. Parámetros de regulación que se pueden observar en el display y campos de los valores ajustables en el MPF2 para la Temperatura_____	67
Tabla 5. Parámetros de regulación que se pueden observar en el display y campos de los valores ajustables en el MPF2 para el Delta T_____	68
Tabla 6. Humedad Relativa (%) en función de una señal de 4-20 mA_____	70
Tabla 7. Temperatura (°C) en función de una señal de 4-20 mA_____	70
Tabla 8. Parámetros para los Lazos de Regulación_____	72
Tabla 9. Lista de elementos para el nuevo sistema de control_____	87
Tabla 10. Especificaciones de los elementos del PLC_____	94
Tabla 11. Variables asociadas a la pantalla de control_____	102
Tabla 12. Señales que intervienen en el nuevo sistema de control_____	124
Tabla 13. Parámetros para la programación del PI_____	125
Tabla 14. Variables para la programación del PI de la pantalla de control_____	126
Tabla 15. Valores PV para la temperatura y humedad en diferentes escalas para el rotante 1_____	128
Tabla 16. Valores SP para la temperatura y humedad en diferentes escalas para el rotante 1_____	128
Tabla 17. Variables asociadas a las ecuaciones psicrométricas para el rotante 1_____	129
Tabla 18. Alarmas asociadas a la consola_____	132
Tabla 19. Teclas de función de la consola_____	134
Tabla 20. Detalles de instalación de equipos_____	137
Tabla 21. Cálculo de SP de %HR a partir de T_{BS} (SP) y ΔT (SP)_____	139
Tabla 22. Cálculo de ΔT a partir de T_{BS} (PV) y %HR (PV)_____	147
Tabla 23. Parámetros del controlador PI para el control de la temperatura_____	147

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques del Proceso	7
Figura 2. Carta pricrométrica	12
Figura 3. Ejemplo de Secador Rotatorio	16
Figura 4. Esquema representativo de un sistema automático	17
Figura 5. Ejemplo de un PLC	18
Figura 6. Sistema automático	19
Figura 7. Modelo de Rack	22
Figura 8. Fuente de alimentación	23
Figura 9. Ciclo de trabajo de un PLC	24
Figura 10. Configuración de una CPU	25
Figura 11. Módulos de entarada/salida en un PLC	26
Figura 12. Ejemplo de panel de operación	29
Figura 13. Comunicación entre una consola de programación y un autómeta	30
Figura 14. Comunicación entre el PC y el autómeta (PLC)	31
Figura 15. Programación en lenguaje a contactos (LD)	32
Figura 16. Programación en un lenguaje por lista de instrucciones	32
Figura 17. Programación en Grafcet	33
Figura 20. Parámetros del modelo POMTM	38
Figura 21. Ejemplo para el lazo de Regulación	40
Figura 22. Tornillo sin fin	52
Figura 24. Tina amasadora principal	52
Figura 25 Amasadora al vacío	52
Figura 26. Sistema de dosificación de agua	52
Figura 27. Dosificación de agua	52
Figura 28. Sistema de dosificación de sémola	52
Figura 29. Equipo CAR 500	53
Figura 30. Equipo HOJA 1000	53
Figura 31. Secador Rotante vista de frente	53
Figura 32. Sectores del rotante	53
Figura 33. Ventiladores del trabatto	53
Figura 34. Intercambiador de calor	54
Figura 35. Ventilador	55
Figura 36. Válvula de control	55
Figura 37. Pistón y extractor	55
Figura 38. Grupo Hidráulico	55
Figura 39. Módulo MFP2-N	55
Figura 40. Silos de almacenamiento	61
Figura 41. Salida de los silos	61
Figura 42. Pasta para transporte	61
Figura 43. PLC en el tablero de Control	61
Figura 44. Sección de interconexión	61
Figura 45. Sección de interconexión final	61
Figura 46. Módulo MPF2	62
Figura 47. Sonda Rotronic	69

Figura 48. Mímico indicador del funcionamiento del rotante nº1	78
Figura 49. Mímico indicador del funcionamiento del rotante nº2	79
Figura 50. Mímicos indicadores del funcionamiento de los rotantes 3 y 4	79
Figura 51. Luces y botones del tablero de control (Control PLC)	80
Figura 52. Ubicación del PLC con sus elementos	81
Figura 53. Panel de control con PLC	84
Figura 54. Rack de 4 y 12 posiciones	85
Figura 55. Módulo de ventilación	86
Figura 56. Procesador	86
Figura 57. Módulo de alimentación	87
Figura 58. Módulo de entradas/salidas digitales	88
Figura 59. Base Telefast	88
Figura 60. Módulos de E/S analógicas	89
Figura 61. Ubicación de los elementos del PLC	90
Figura 62. Esquema de instalación del rack y módulos de ventilación	91
Figura 63. Conexión eléctrica de los módulos	96
Figura 64. Conexión eléctrica de los telefast	97
Figura 65. Montaje de la consola de diálogo	97
Figura 66. Lazos de regulación de temperatura y humedad	100
Figura 67. Lazo de regulación	101
Figura 68. Múltiple de aire para control neumático	108
Figura 69. Tableros del trabatto	113
Figura 70. Tablero de dosificación	114
Figura 71. Botonera comando amasadora-prensa	116
Figura 72. Botonera comando amasadora-prensa remoto	119
Figura 73. Control de velocidad de dosificación	120
Figura 74. Tablero principal de potencia	122
Figura 75. Direccionamiento de palabras	125
Figura 77. Tabla de animación para simular las ecuaciones para cálculos del set point de %HR	130
Figura 78. Tabla de forzamiento para simular las ecuaciones para cálculo de PV de ΔT	131
Figura 79. Respuesta ante un cambio en escalón para la temperatura en el rotante 1	132
Figura 80. Comportamiento de la temperatura del proceso (PV) utilizando el módulo MPF2 durante la producción para el rotante 1	142
Figura 81. Comportamiento de ΔT durante el proceso (PV) utilizando el módulo MPF2 para el rotante 1	143
Figura 82. Comportamiento de la temperatura del proceso (PV) utilizando el nuevo sistema (PLC) durante la producción para el rotante 1	144
Figura 83. Comportamiento de ΔT durante del proceso (PV) utilizando el nuevo control (PLC) para el rotante 1	145
Figura 84. Pantalla de animación para los parámetros del nuevo sistema de control (PLC)	148
Figura 85. OUT de la válvula de control para la temperatura en el rotante 1	149
Figura 86. OUT hacia el pistón para el control de la humedad en el rotante	149

Ramírez B., Fabiola M.

CONTROL DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PASTA CORTA

**Tutor Académico: Profa. Berenice Blanco. Tutor Industrial: Ing. Enrique Vásquez.
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Año
2003, 223 p**

Palabras Claves: Control, Proceso, Automatización, Controlador, Programación

Resumen. El proyecto presentado en este trabajo tiene por objeto el diseño, programación, instalación y arranque de un sistema de control para la temperatura y la humedad relativa, utilizando un Controlador Lógico Programable, en las etapas de secado de una línea de producción de pasta corta ubicada en la empresa Pastas Capri C.A. Para lograr este objetivo se realizó como primer paso un estudio de ingeniería conceptual, donde se analizó el sistema de control que estaba instalado, para emitir un diagnóstico del mismo. Posteriormente y en función de lo anterior, se realizó un estudio de ingeniería de detalles dentro del cual se abarcaron actividades de levantamiento de campo para determinar el estado actual de toda la línea de producción. También se desarrolló la disciplina de instrumentación para el nuevo sistema de control tomando en cuenta los planos, instrumentos y diagramas referentes al nuevo sistema a instalar. Se ejecutaron las actividades relacionadas a la disciplina de aplicación, donde se especificó todo lo referente al control de la temperatura y la humedad relativa en las etapas de presecado y secado de la pasta, elaborando la filosofía y estrategias de control del nuevo sistema. Seguidamente se realizó la disciplina de sistemas para seleccionar las señales que intervendrían en el nuevo sistema de control con su direccionamiento y la variable asociada, se elaboró el programa para el control de la temperatura y la humedad relativa para los rotantes 1, 2 y 3, así como el programa de comunicación entre el PLC y la consola de interfaz humana. Finalmente se especificaron los pasos generales para la instalación del sistema, ubicación de cables, canalización de los mismos y se describieron los requerimientos de montaje y materiales utilizados. Se verificó que el programa desarrollado para el control funciona perfectamente y acerca más los valores de PV al set point que el sistema anterior. Se encontró que la oscilación de respuesta del proceso se debe a la temperatura de calentamiento proveniente del calentador principal, la cual es controlada por un sistema on-off, se recomienda un control continuo en la temperatura para disminuir las oscilaciones y obtener mejores resultados del control. El PLC no sólo puede utilizarse para controlar la temperatura y la humedad en las etapas de sacado, a través de él se pueden automatizar otros procesos que actualmente se hacen de forma manual dentro de la línea.