

FlowFree

The Development of a High Output Processing Method
for the Extrusion of Solid Thermoplastic Sheet and Profile

AVEP - AIMPLAS, 29 Septiembre 2008



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Objetivos FlowFree

- Los objetivos del proyecto FlowFree son:
 - aumentar la capacidad productiva
 - disminuir la temperatura de procesamiento
 - disminuir el consumo de energíaen el proceso de extrusión de plásticos.



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Objetivos FlowFree

Utilización de CO₂ supercrítico en el procesado por extrusión de plásticos. El CO₂ supercrítico actúa como ayuda de proceso, reduciendo la viscosidad del polímero. Se llega así a un proceso con mayor capacidad productiva, reduciendo temperatura y el consumo de energía.

Los objetivos técnicos principales del proyecto FlowFree son:

- Desarrollar un prototipo de máquina de extrusión que permitirá el desarrollo comercial e industrial total del proceso.
- Desarrollar el proceso a escala industrial para pequeñas y medianas empresas con requisitos de producción diferentes.
- Demostrar la viabilidad comercial y técnica del proceso a nivel industrial.



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow

Project Reference Code:
COLL-516255-2

Contenidos de la presentación

- CO₂ supercrítico. Definición
- Beneficios del proceso
- Requerimientos de la tecnología
- Escalado industrial



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

CO₂ Supercrítico



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Sixth Framework Programme

Project: FreeFlow

Project Reference Code:
COLL-516255-2



*PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION*



Project: FreeFlow
*Project Reference Code:
COLL-516255-2*

Qué es el sc CO₂ ?

- Fluidos supercríticos (SCF):
 - Sustancias por encima de su presión (P_c) y temperatura (T_c) críticas.
 - Sus propiedades están entre las de líquidos y gases:
 - Alta solubilidad (como un líquido)
 - Alta difusividad (como un gas)
 - Baja viscosidad (entre gas y líquido)
 - Sus propiedades pueden variar cambiando la temperatura y la presión
- CO₂ supercrítico (sc CO₂):
 - $T_c = 304.15 \text{ K}$, $P_c = 7.38 \text{ MPa}$, $\rho_c = 0.47 \text{ g/mL}$

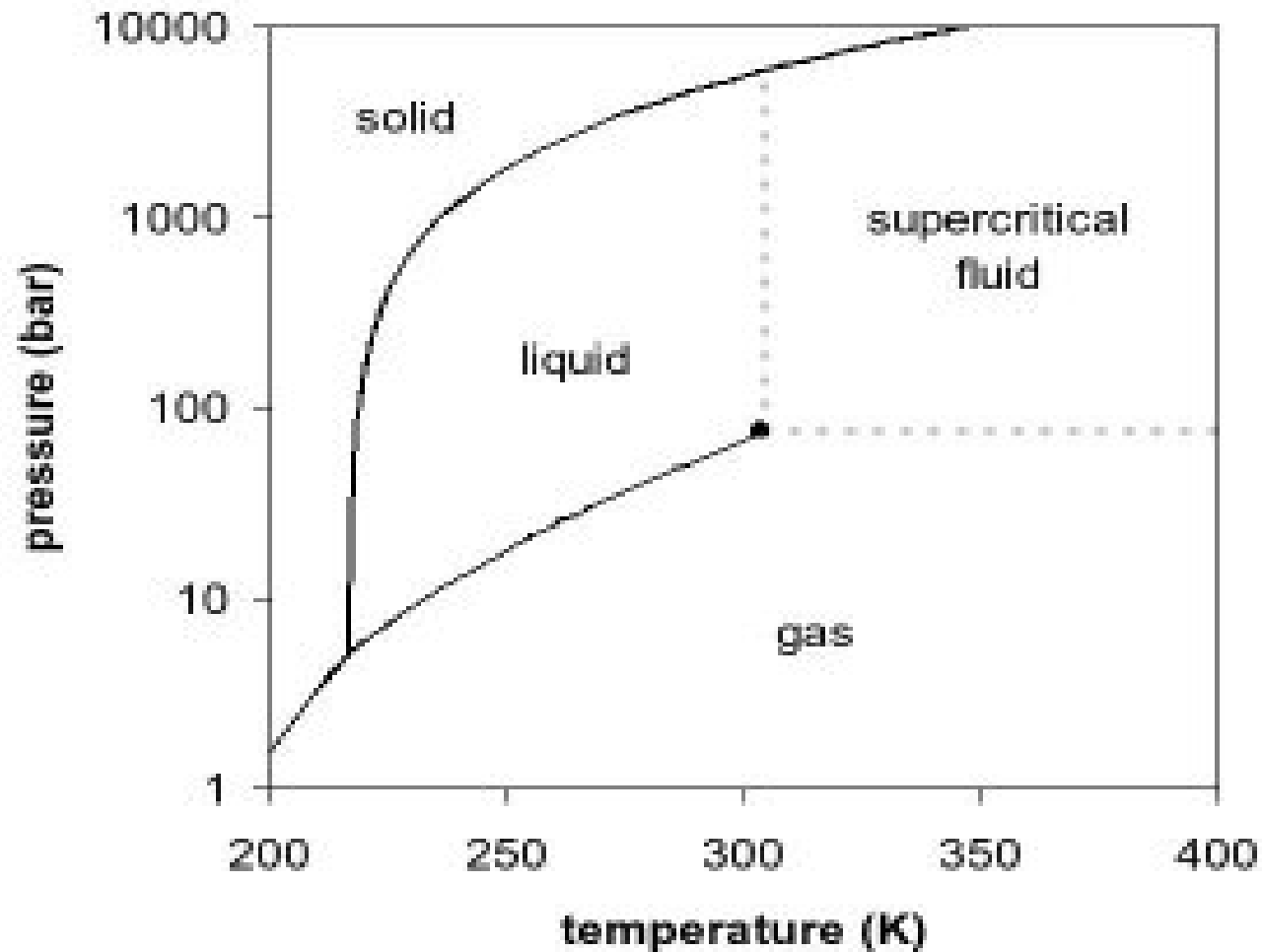


PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Sc CO₂



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

¿Por qué usar sc CO₂?

- Ventajas:
 - Barato, disponible en alto grado de pureza
 - No combustible, no inflamable
 - Fácilmente separado del polímero
 - Sus condiciones críticas pueden ser obtenidas fácilmente
- Aplicaciones:
 - Plastificante, agente espumado, compatibilizante, solvente/anti solvente, etc.



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Plastificación del polímero

- Cuando el CO₂ plastifica el polímero:
 - Las moléculas de CO₂ interaccionan con los grupos básicos en las moléculas poliméricas
 - Hinchamiento (swelling) de la matriz polimérica, aumentando el volumen libre
 - Incremento de la movilidad de las moléculas
 - Reducción de la temperatura de transición vítrea (T_g)
 - Reducción de la viscosidad, permitiendo el procesado a una temperatura más baja y evitando la degradación del polímero
 - Menor consumo energético y coste de producción

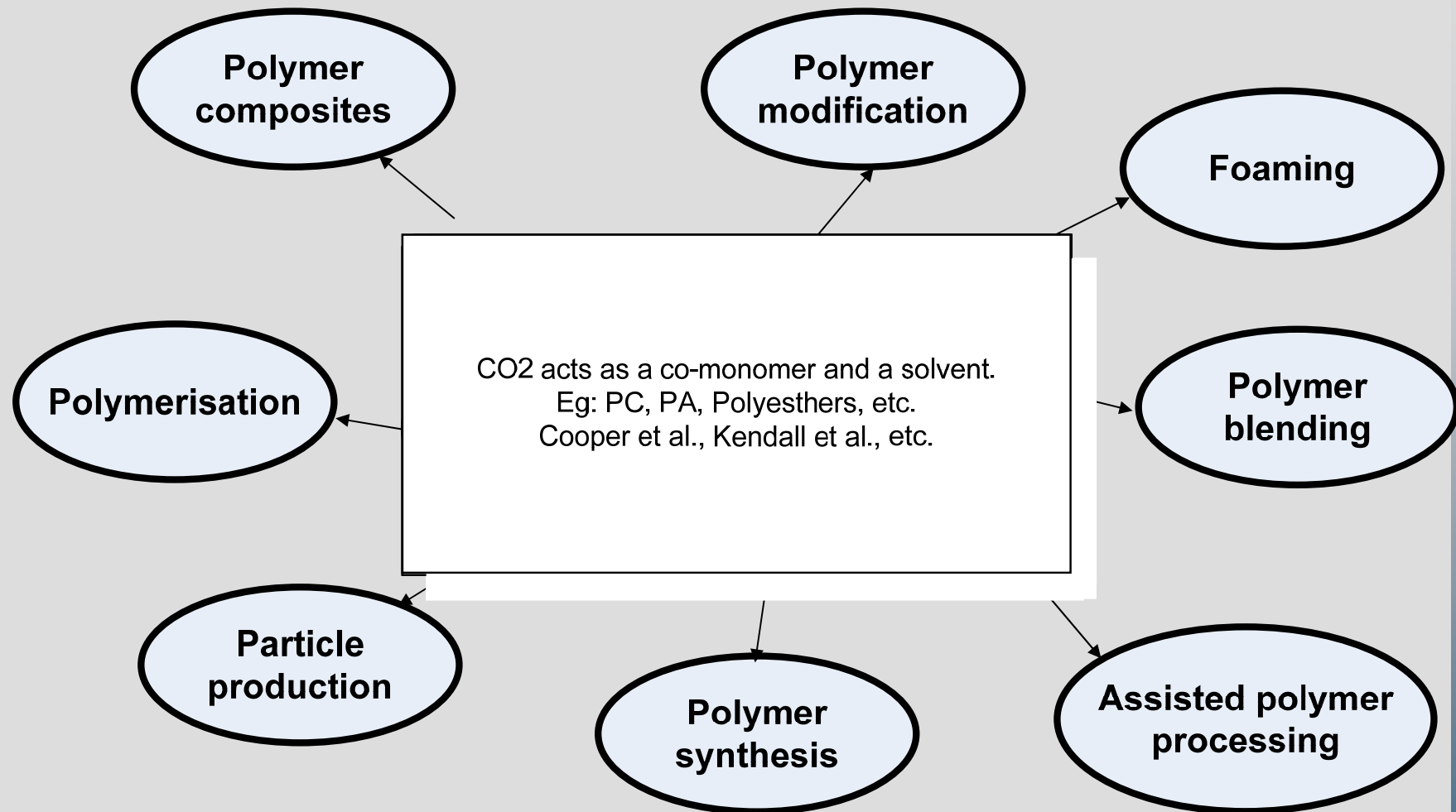


PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

sc CO₂ / Polímeros



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Beneficios del proceso



*PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION*



Sixth Framework Programme

Project: FreeFlow
*Project Reference Code:
COLL-516255-2*

Beneficios en diferentes materiales

Polímero (Semicristalinos)	Contenido CO ₂ (wt%)	Reducción viscosidad (%)
PBT	2.1	5.4
	3.0	9.0
HDPE	2.4	15.3
	4.0	16.8
PP	3.4	17.5
	5.4	24.1



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Beneficios en diferentes materiales

Polímero (Amorfos)	Contenido CO ₂ (wt%)	Reducción viscosidad (%)
PS	0.1	4.0
	0.4	7.0
ABS	0.4	16.0
	0.8	31.3
PMMA	1.7	9.2
	2.9	18.2
PC	1.2	46.7
	3.6	55.4



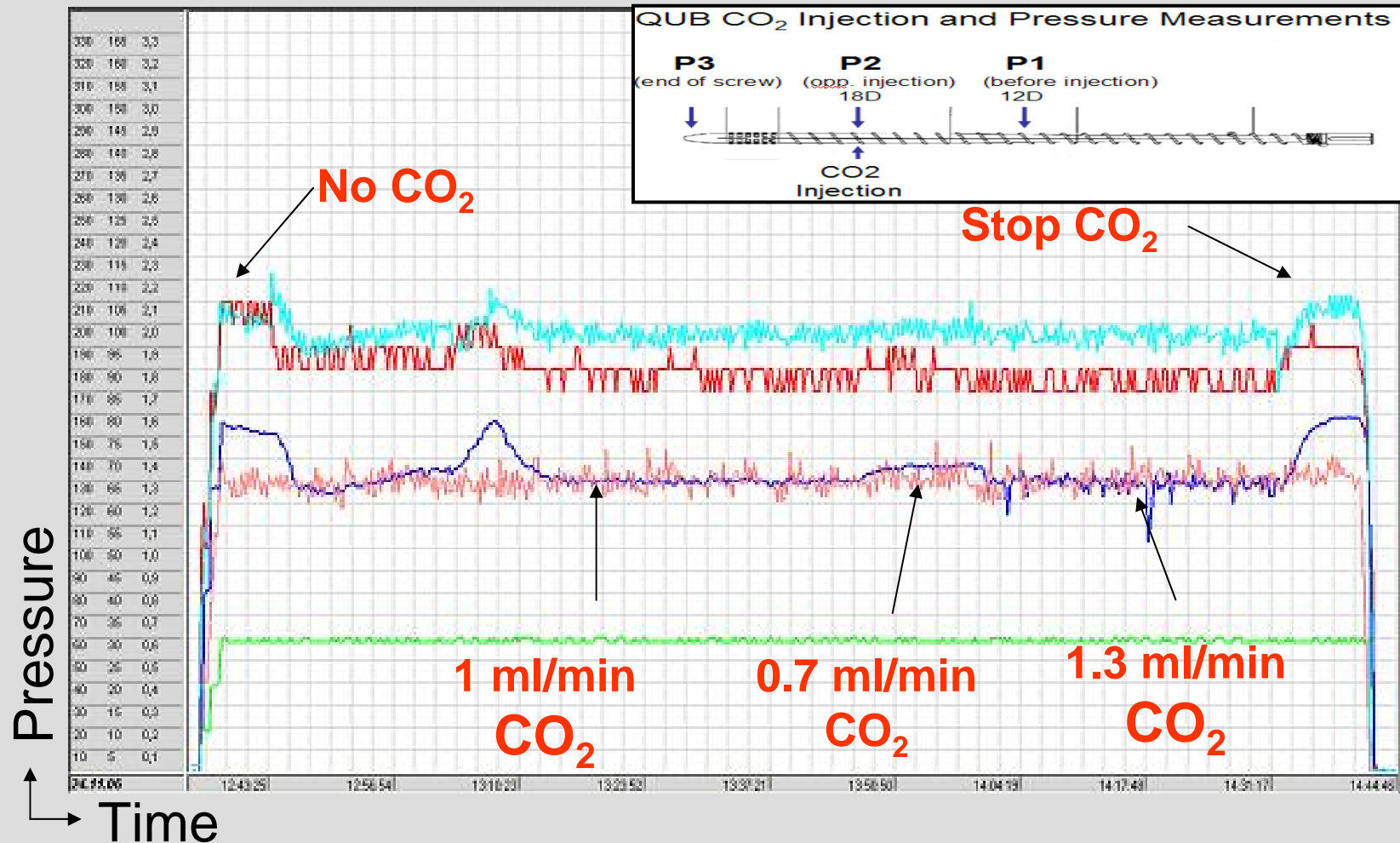
PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Gráfico en tiempo real

muestra la respuesta del sistema cuando se inyecta o no CO₂

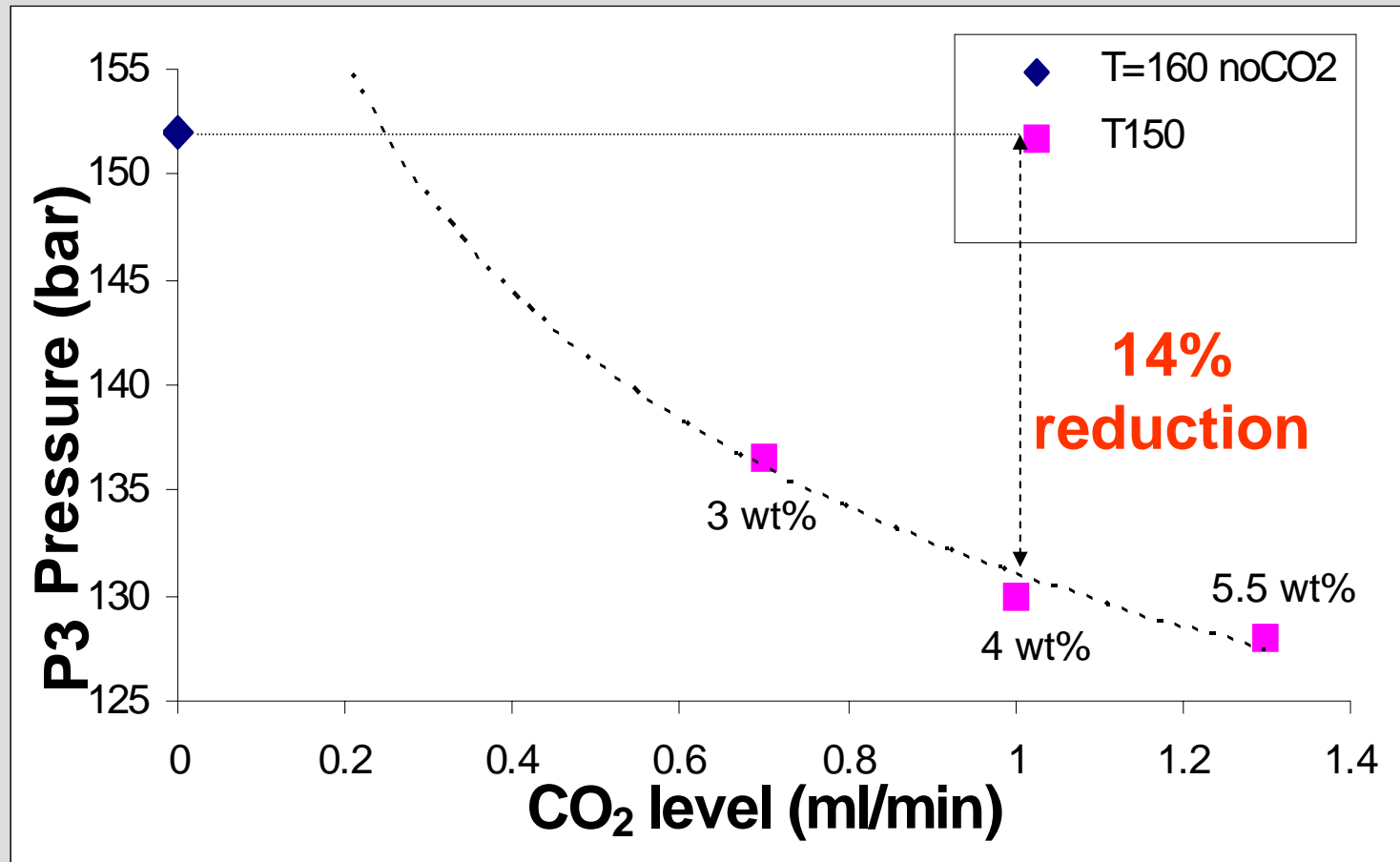


PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Efecto del contenido de CO₂



HDPE a 30 rpm

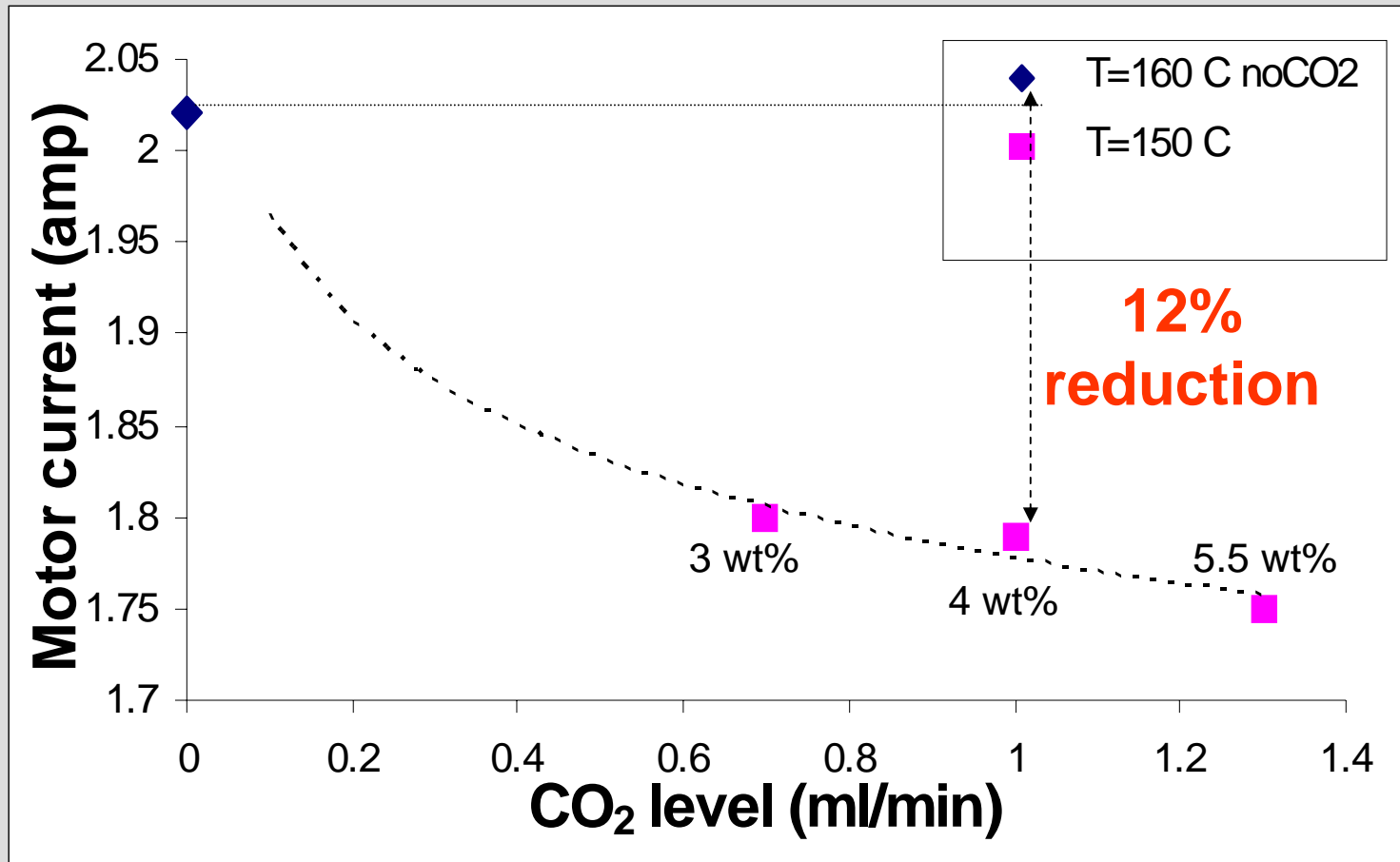


PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Efecto del contenido de CO₂



HDPE a 30 rpm

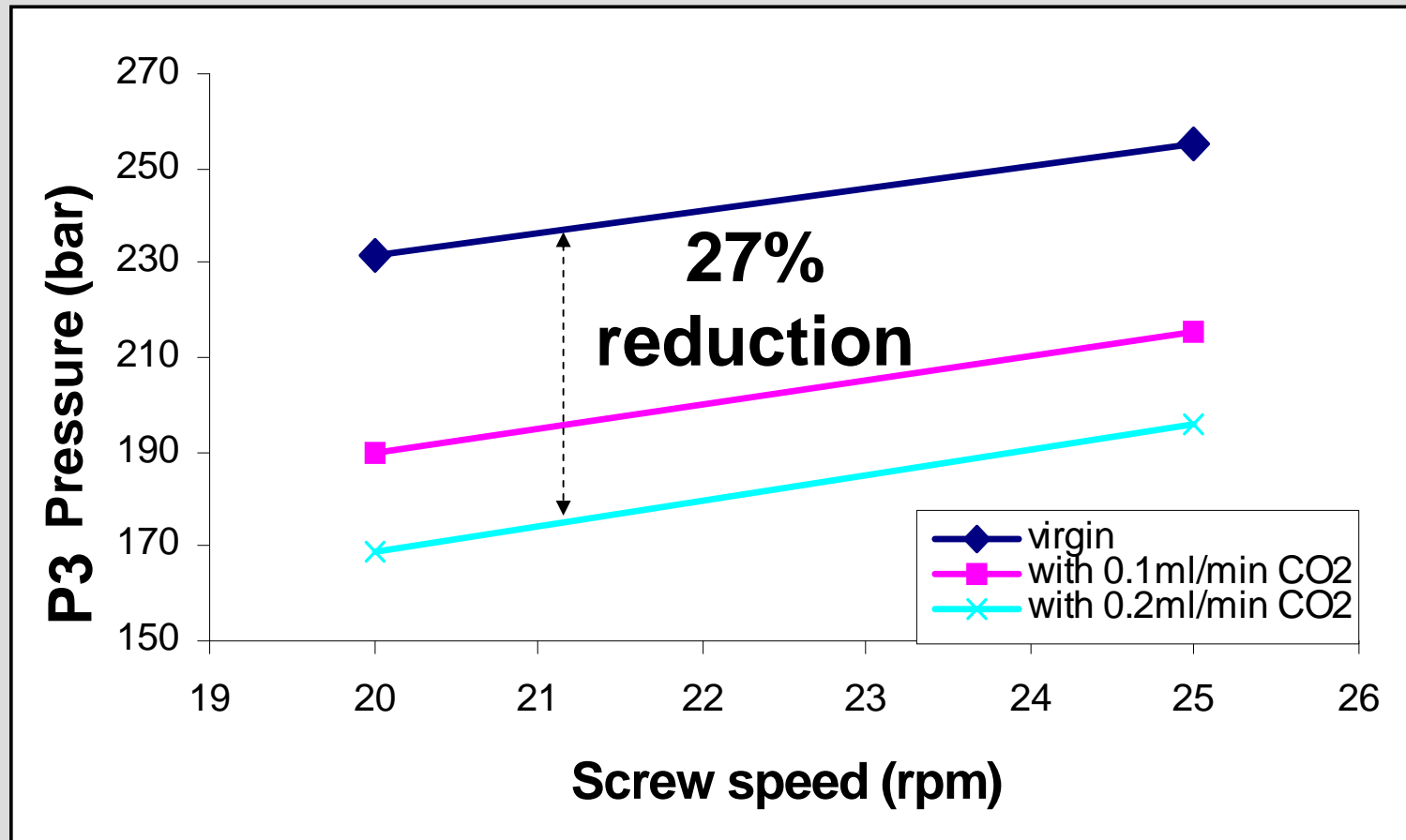


PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Reducción de presión



Extrusión PVC



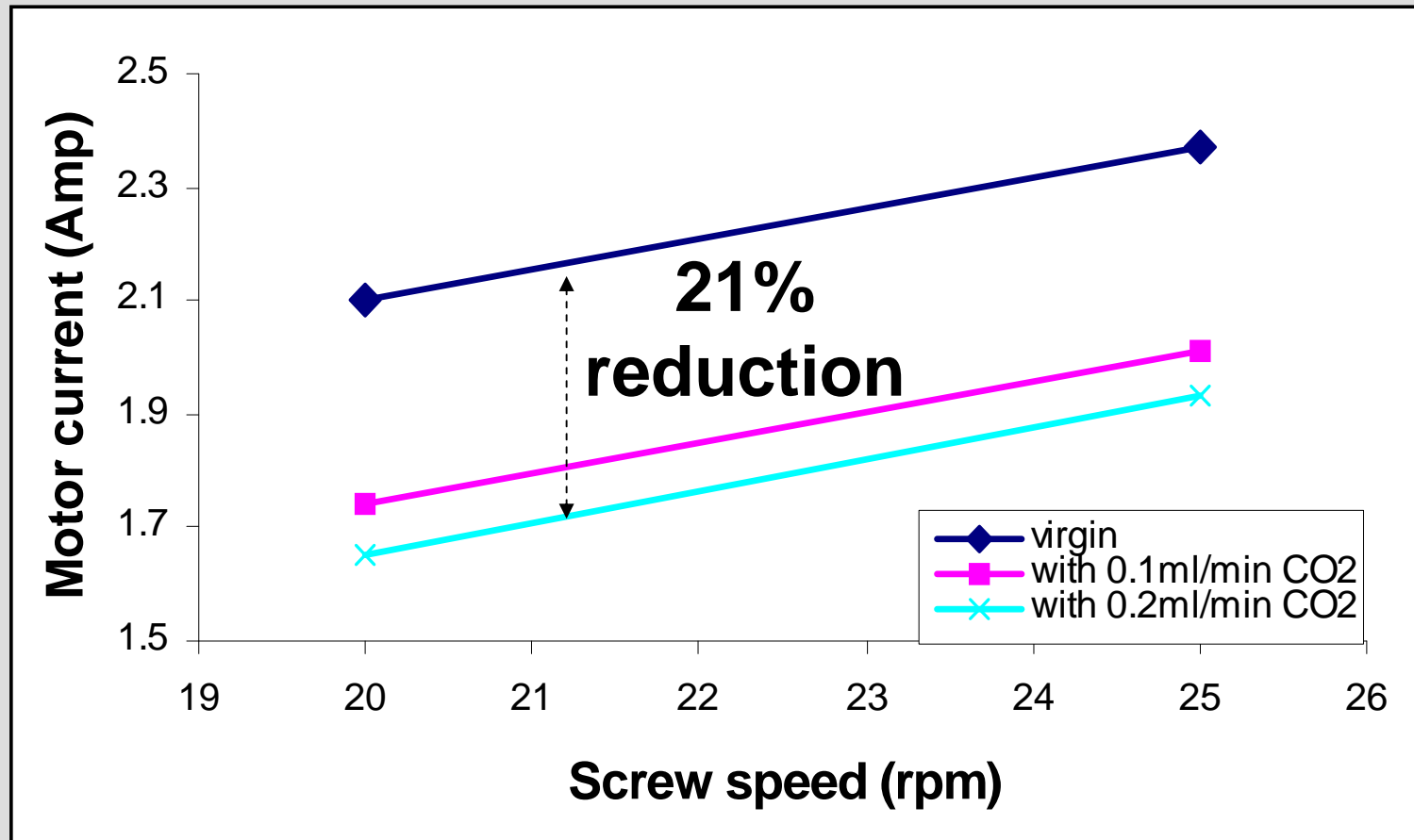
PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow

Project Reference Code:
COLL-516255-2

Reducción par motor



Extrusión PVC



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Requerimientos de la Tecnología



*PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION*



Sixth Framework Programme

Project: FreeFlow

*Project Reference Code:
COLL-516255-2*

Sistema de extrusión prototipo para la inyección de CO₂

Componentes principales:

- Extrusora

- Husillo y cámara estándares
- Boquilla ajustable
 - Ángulo entrada
 - Longitud
 - Gap o galga
 - Extensión boquilla

- Sistema de suministro de CO₂

- Bomba
- Regulador de contrapresión
- Válvula inyectora

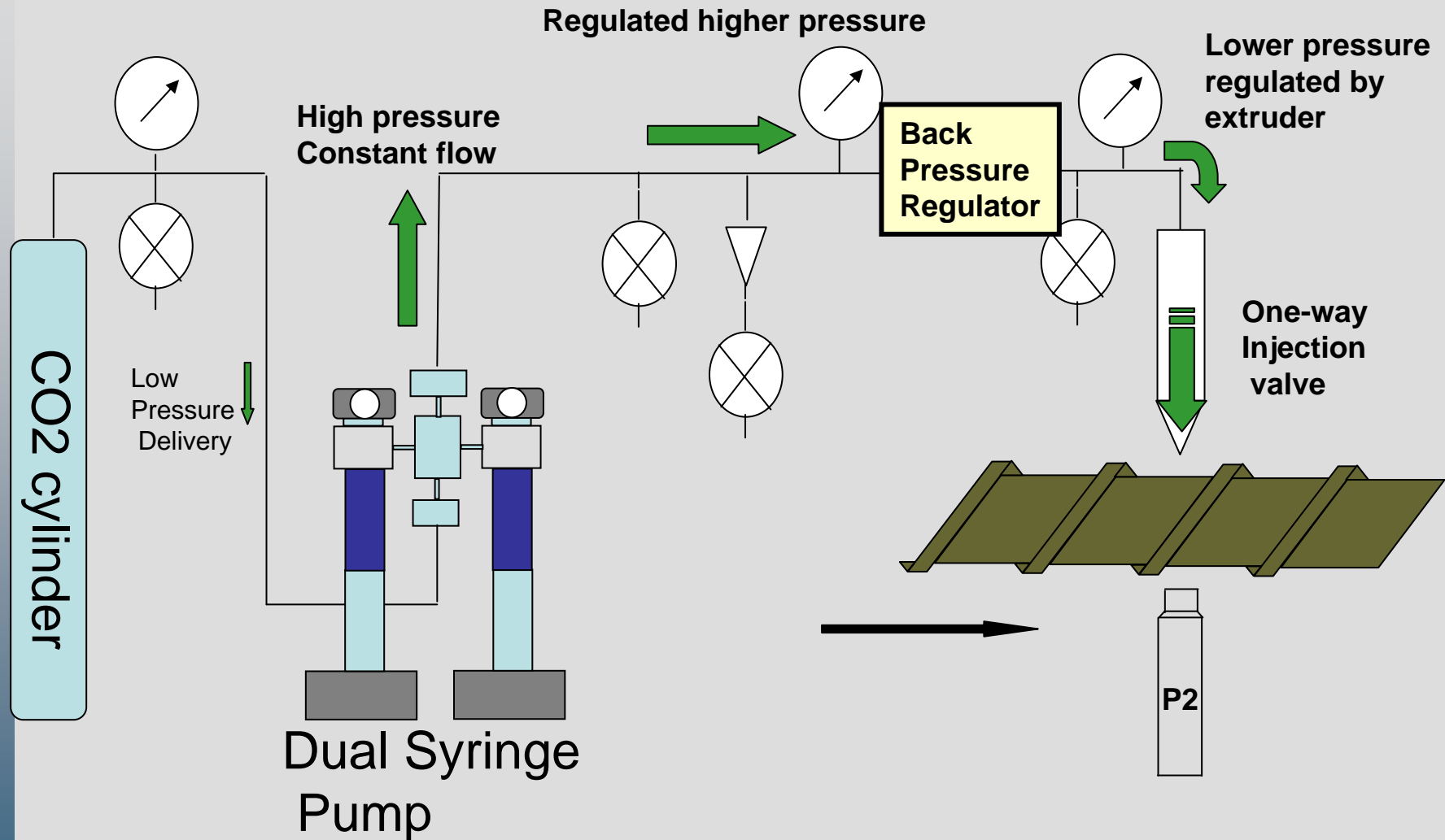


PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Sistema de inyección de CO₂



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Requerimientos inyección de gas

Bomba de jeringa dual Isco

- Robusta, fiable y precisa para el control y monitorización de la presión de inyección y el flujo de CO₂
- Fácil uso

Regulador de contrapresión

- Asegura el funcionamiento del sistema a una presión constante al mismo tiempo que se mantiene un flujo constante

Válvula inyectora

- Robusta para asegurar la apertura y el cierre a altas presiones con continua variación de presiones (hasta presiones máximas de extrusión)
- Evitar el flujo contrario de polímero



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Escalado Industrial



*PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION*



Sixth Framework Programme

Project: FreeFlow

*Project Reference Code:
COLL-516255-2*

Diseño de modificaciones

- Identificación de la maquinaria a modificar
- Localización de los transductores de T y P
- Identificación del tamaño de extrusora y configuración de husillo
(para planificar la localización de puntos de inyección)



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Diseño de modificaciones

- Posición y longitud de las resistencias
- Comprobar la existencia o no de un contador del consumo energético
- Comprobar la existencia de sistema de control



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Equipamiento adicional

- Transductores T, P
- Data logger
- Sistema de bombeo



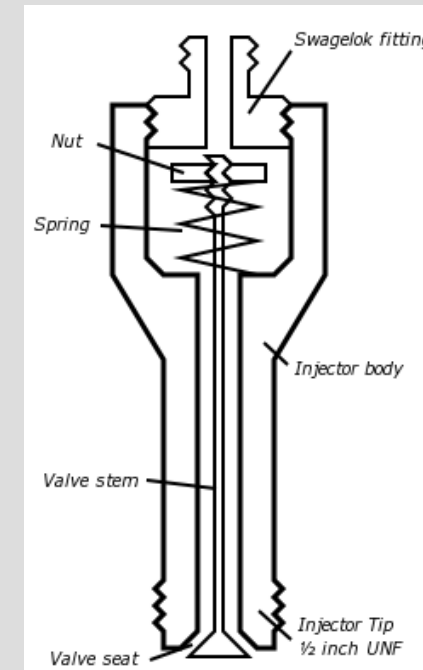
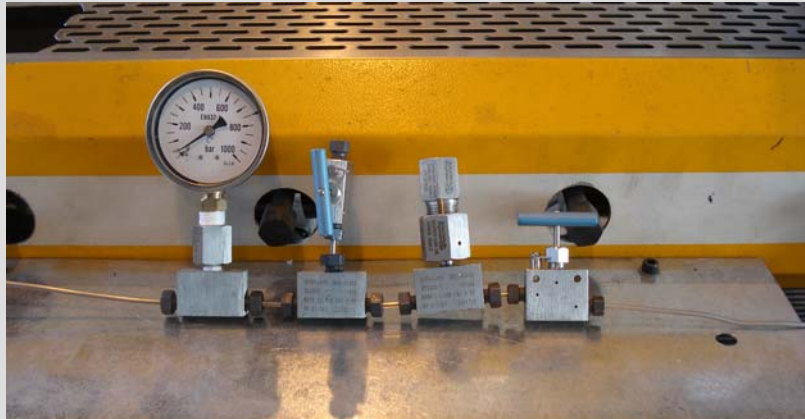
PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Equipamiento adicional

- Línea de gas
(incluidos conductos, válvulas, acoples, etc.)
- Inyector de gas



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Escalado Industrial

Empresa 'A' Perfiles & Estructuras espumadas



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Empresa 'A'

Empresa	'A'
Perfil	Perfiles sólidos y espumados
Fecha de las pruebas	23 Abril y 19 Mayo 2008
Extrusora	Kuhne 45mm, 40 L/D y Dr. Collin 25mm en QUB
Materiales	TPE, PP y Santoprene
Sistema bombeo CO ₂	Jasco (PU2080) e Isco en QUB
Punto de inyección	Varios
%wt CO ₂	Varios
Variables medidas	Consumo energético y estructura de celda y perfil



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Pruebas empresa 'A'



Rough strip from primary extruder



Good strip from second extruder

- Banda de TPE producida en extrusora primaria con CO₂
- Corte de cubos que se alimentan a una segunda extrusora
- Resultado: banda ligeramente espumada con buen acabado superficial
- Reducción de consumo energético en la 2^a extrusora



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Conclusiones Empresa 'A'

- Instalación industrial con capacidad para inyectar cantidades controladas de sc CO₂
- Pruebas realizadas con un sistema de extrusión en tándem
- Se consigue un espumado controlado
- El uso de agentes nucleantes mejora los resultados para el PP, pero no tanto para el Santoprene
- La temperatura del cabezal se redujo desde 230°C hasta 150°C para el PP



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Escalado Industrial

Empresa 'C' Uso de Bomba de Engranajes



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

SME 'C'

Empresa	'C'
Perfil	Uso de bomba de engranajes
Fecha de las pruebas	3 Junio 2008
Extrusora	'OMP' 2-etapas con desgasificación D= 35 mm y L/D= 37
Materiales	Policarbonato, Poliestireno
Sistema bombeo CO ₂	Bomba de jeringa dual de Isco
Punto inyección	Principio de la segunda etapa, L/D=23
%wt CO ₂	2 ml/min para PC (0.8%) 0, 1, 5 ml/min para PS (0%, 0.4%, 2.2%)
Variables medidas	P Inyección, P y T fundido Parametros bomba engranajes Producción + velocidad husillo



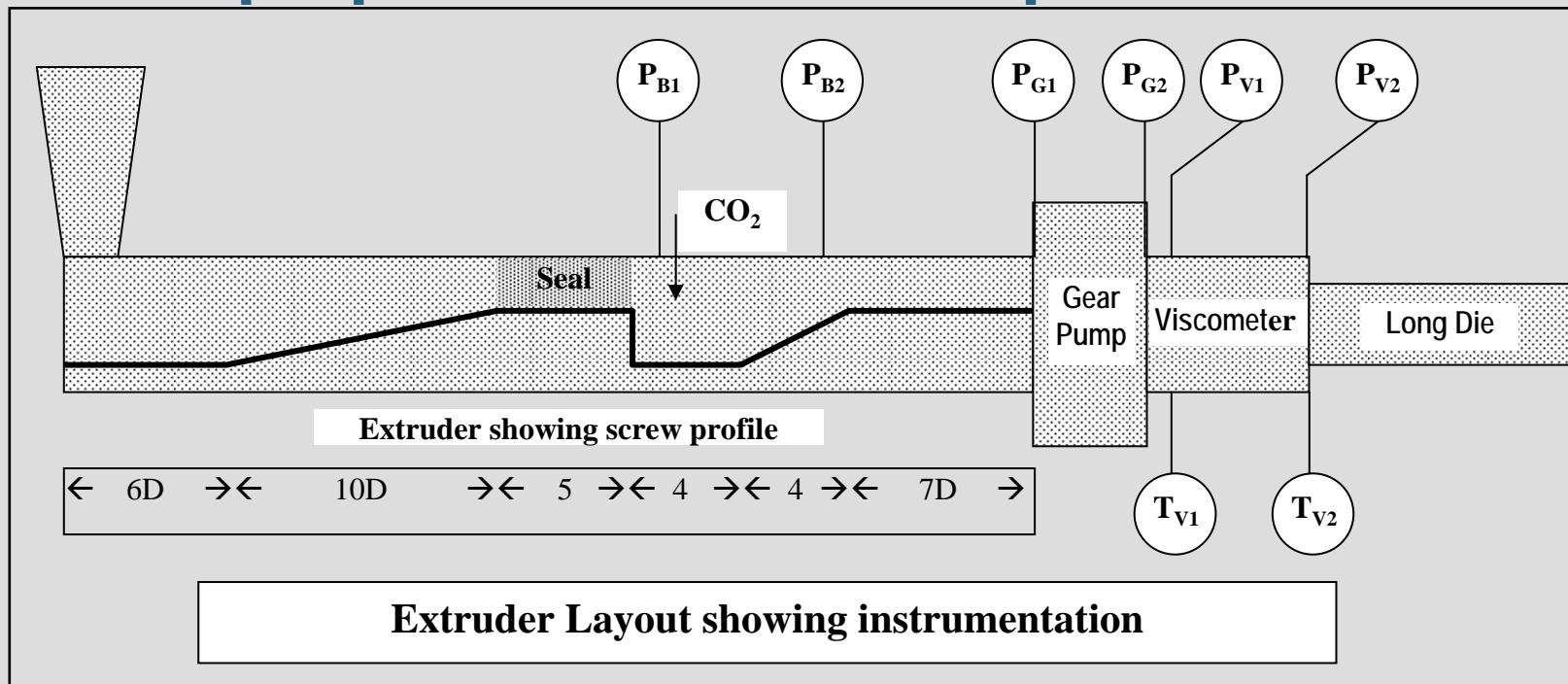
PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow

Project Reference Code:
COLL-516255-2

Equipamiento Empresa 'C'



- Tapón de fundido al final de la 1ª etapa evita el escape de CO₂ por la tolva
- CO₂ inyectado en una sección profunda
- Presión controlada por la bomba de engranajes
- Viscosímetro para medir viscosidades
- Cabezal largo para dar una caída de presión lenta



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Montaje en empresa 'C'



Sin CO₂



Con CO₂



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Pruebas en empresa 'C'

- Policarbonato y Poliestireno fueron probados
- Contenido CO₂ en ml/min variable
- Presión de la bomba engranajes: de 50 a 200 bar
- CO₂ se mantuvo en disolución más eficazmente
- Las temperaturas del cabezal se bajaron para aumentar la presión
- A presiones altas, la estructura de celda fue mejorada
- Mayores niveles de CO₂ se probaron con el PS pero la estructura no fue buena



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Conclusiones Empresa 'C'

- Instalación industrial con capacidad para inyectar cantidades controladas de sc CO₂
- Pruebas realizadas con una bomba de engranajes
- Un espumado controlado fue obtenido con PC & PS
- Altas presiones resultan ser beneficiosas para la estructura de celda
- La temperatura del cabezal fue reducida para incrementar la contrapresión



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Escalado Industrial

Empresa 'R' Extrusión de tubería en poliolefinas



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Sixth Framework Programme

Project: FreeFlow

Project Reference Code:
COLL-516255-2

Empresa 'R'

Empresa	'R'
Perfil	Extrusion tubería
Fecha pruebas	Mitad Marzo 2008
Extrusora	'Pagani' 75mm y 30 L/D
Materiales	LDPE Alcudia CN-122 PP Random ISPLEN PR210 X6E
Sistema bombeo CO ₂	Bomba jeringa dual Isco
Punto Inyección	Punto Inyección en L/D=27
%wt CO ₂	0, 0.12, y 0.24 %wt para PP 0, 0.11, 0.55, 1.07 y 2.17 %wt para LDPE
Variables medidas	Presión en punto inyección Presión y temperatura de fundido Producción + par motor



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Pruebas Industriales



Inyección del CO₂ en 27D, antes del mezclador Saxton del husillo



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

PPR ISPLEN 260 X6E



Reducción en par motor de hasta el 5%.

Descenso de la producción del 3.5%.

Las muestras presentaban una superficie lisa con burbujas internas



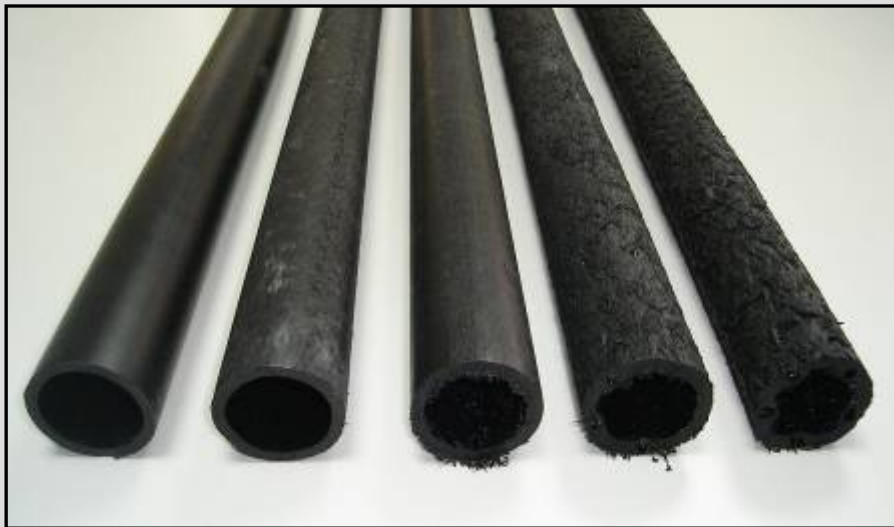
PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

LDPE ALCUDIA CN-122

Las muestras presentaban unas superficies interna y externa rugosas y burbujas internas



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Conclusiones Empresa 'R'

- Dificultad para evitar el espumado, aún con bajos porcentajes de CO₂
- Diferente efecto del CO₂ en LDPE y PP: superficies más rugosas en LDPE y burbujas internas en PP, probablemente debido a las diferentes condiciones de extrusión
- No se observó un efecto dramático en la presión de fundido o el par motor



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Escalado Industrial

Empresa 'P' Perfil y Tubería de PVC



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Empresa 'P'

Empresa	'P'
Perfil	Extrusión tubería y perfilería
Fecha de las pruebas	Finales Mayo 2008
Extrusora	'Covema' 60mm D, 25 L/D
Materiales	PVC rígido K-65
Sistema de bombeo CO ₂	Bomba de jeringa dual Isco
Punto de inyección	En L/D=18 y 21.5
%wt CO ₂	0, 0.11, 0.22, y 0.43 %wt
Variables medidas	Presión en punto de inyección Presión y temperatura de fundido Producción + Consumo energético

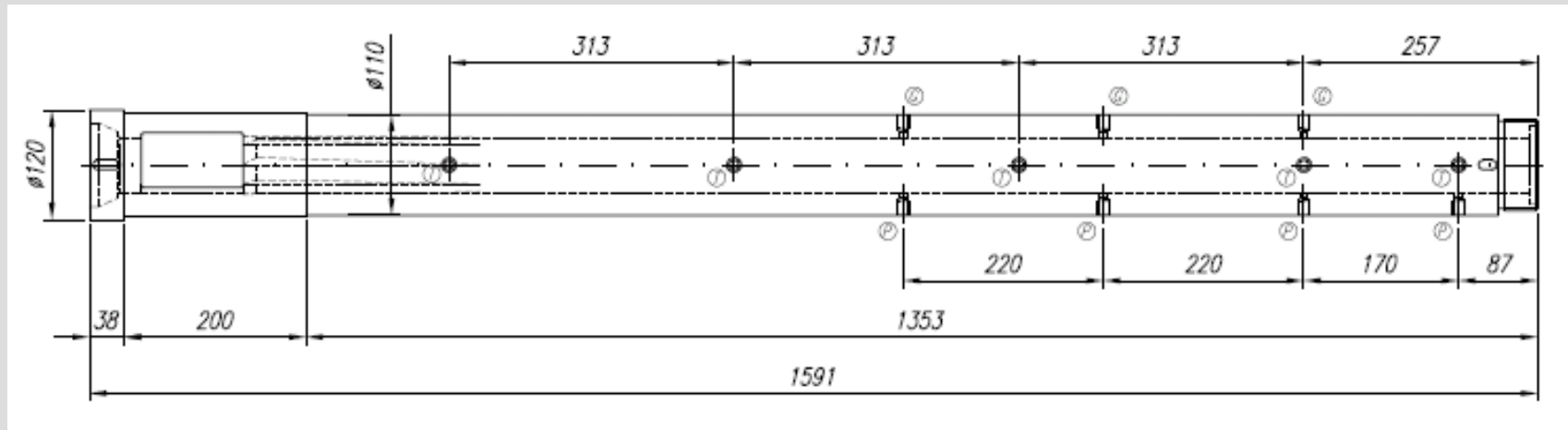


PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Modificaciones de Equipamiento



3 puntos de inyección: 14.5D, 18D y 21.5D

Taladros adicionales para el transductor de presión y de temperatura



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Extrusora Modificada en Empresa 'P'



- Extrusora con el sistema de bombeo al fondo
- Indicación de presión y temperatura de fundido
- Inyección de CO₂ en 18D y 21.5 L/D
- Presión de inyección 35-50 bar más alta que la presión de la cámara
- Material: PVC negro K-65 cargado
- Extrusión de tubo estriado



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

Resultados pruebas en Empresa 'P'

- Perfiles sólidos con un 0,22 %wt de CO₂
- Incremento de la producción del 5 % y reducción del consumo energético del 7.5 %
- Reducción de la energía específica del 12%
- Ligero espumado con 0.43%wt CO₂
- La inyección en 18 L/D resultó mejor que en 21.5 L/D



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow

Project Reference Code:
COLL-516255-2

Conclusiones Empresa 'P'

- Perfil sólido de PVC obtenido con 0.22%wt CO₂
- Por encima de este valor, se produce espumado
- La inyección de CO₂ aumenta la producción y reduce el consumo energético
- Con 0.22% CO₂ las mejoras equivalen a una reducción de la energía específica del 12%
- El proceso funciona para el PVC bajo condiciones industriales
- Mayores mejoras podrían obtenerse con diseños de cabezal diferentes



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2

CONCLUSIONES GENERALES

- Pruebas industriales se realizaron en 4 empresas diferentes
- Un amplio rango de materiales fueron probados
 - LDPE, PP, TPE, Santoprene, PC, PS, PVC rígido
 - LDPE y PP tienden a espumar
 - PC y PS espuman pero con una estructura de celda controlada bajo presión
 - El PVC rígido es el que mejor resultados da (12% reducción en energía específica obteniendo perfiles sólidos)
 - Agentes nucleantes fueron probados en PP y Santoprene
- Diferentes configuraciones de máquina probadas
 - El sistema de extrusión en dos etapas favorece la retención del CO₂
 - La bomba de engranajes favorece en control del CO₂ a altas presiones



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2



www.rapra.net



www.qub.ac.uk



www.aimplas.es



www.cesap.com



www.bpf.co.uk



www.pagev.org.tr



www.plasticsconverters.eu



www.agor.de



www.plastire.es



www.yelkeciler.com



www.presearch.co.uk



www.avep.es



www.assocomplast.org



www.reboca.com



PROJECT PART-FINANCED
BY THE EUROPEAN UNION



Project: FreeFlow
Project Reference Code:
COLL-516255-2