



**CODELCO**  
Produciendo Futuro

**VICEPRESIDENCIA CORPORATIVA  
DE PROYECTOS**

# **“Sistema de Manejo de Materiales Interior Refinerías, Un caso de Automatización de Manufactura”**

Proyecto “Cambio Tecnológico Proceso Electro Refinación (PCT)”  
División CODELCO NORTE

Por Bruno Lértora y Rodrigo Mendoza

# Objetivo

- Basado en la experiencia del Proyecto PCT, se describen las funciones características de una aplicación de manufactura automatizada y sus complejidades.



# Equipo de Trabajo

- Operaciones
  - Codelco Norte, Gerencia Refinerías
- Proyecto
  - V.C.P., Gerencia Proyecto “Cambio Tecnológico Proceso Electro Refinación”
- Proveedores
  - Equipos y Sistema: FEMONT - SIEMENS

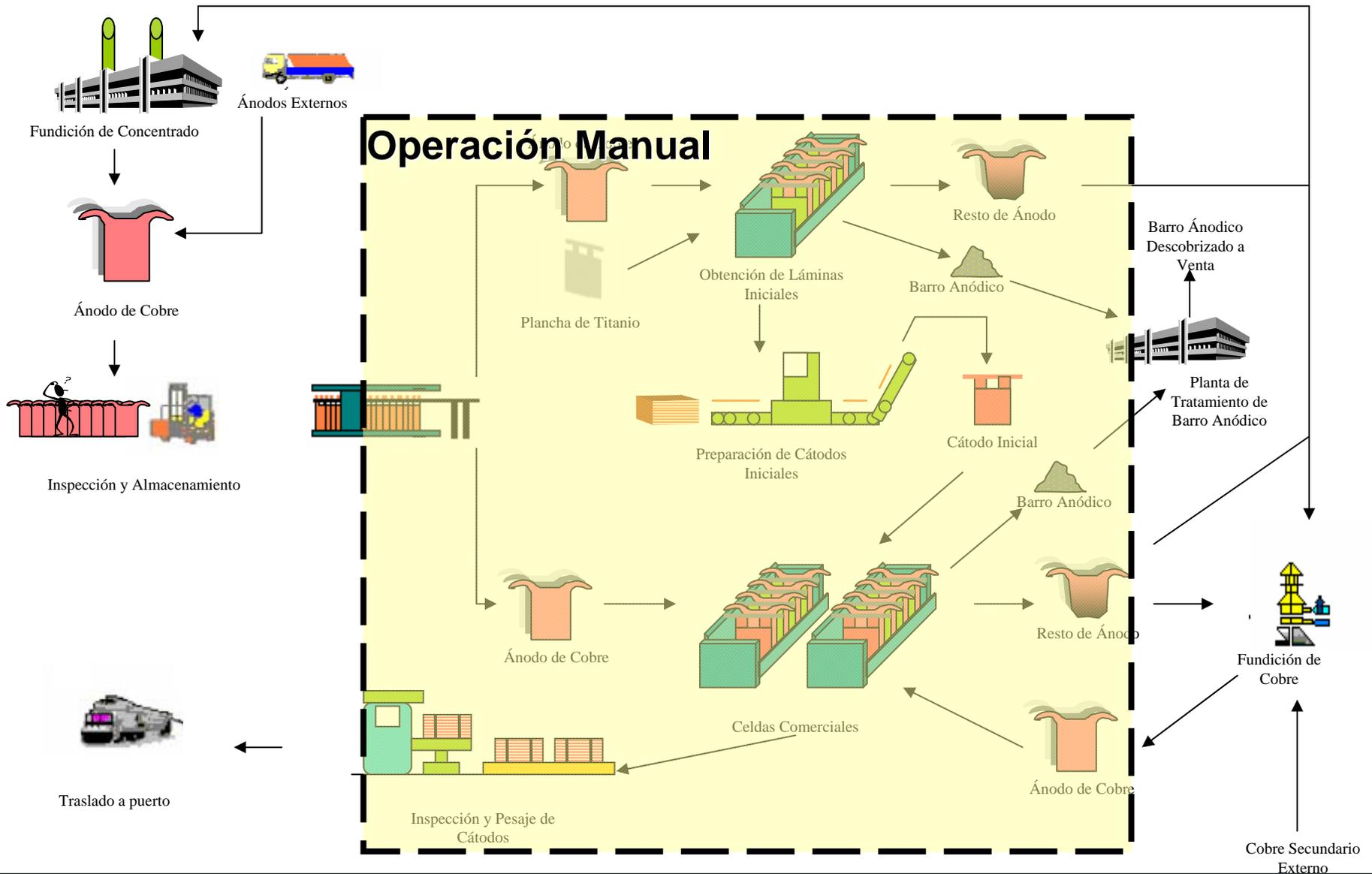
# INDICE

- Descripción del Proceso Global
- Sistema Manejo de Materiales
- Características relevantes y complejidades
- Comentarios Finales

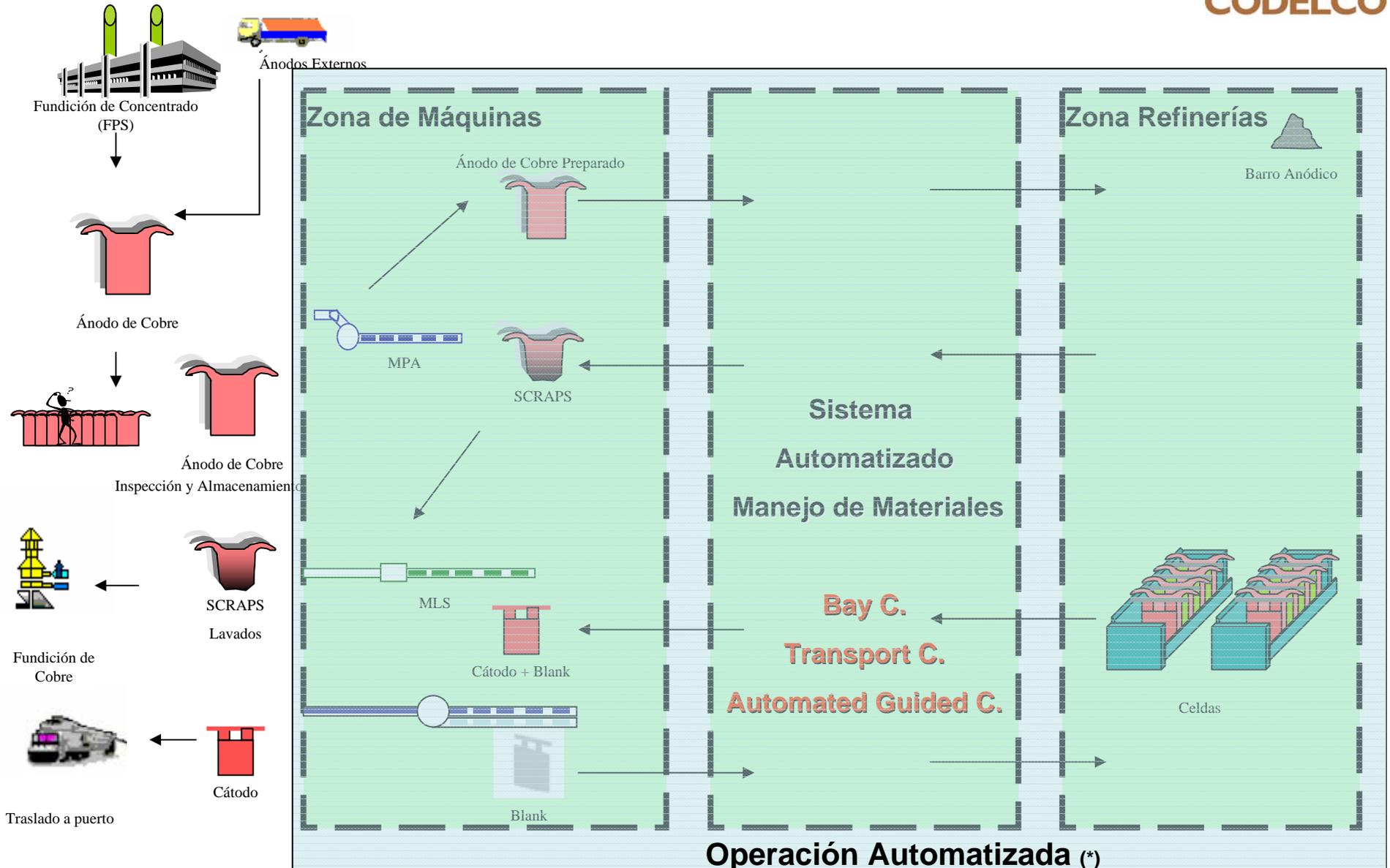
# Descripción del Proceso

- Situación original
- Situación con Proyecto
- Flujo de Materiales
- Layout de Planta

# DIAGRAMA DE PROCESOS ORIGINAL.



# DIAGRAMA DE PROCESOS FINAL





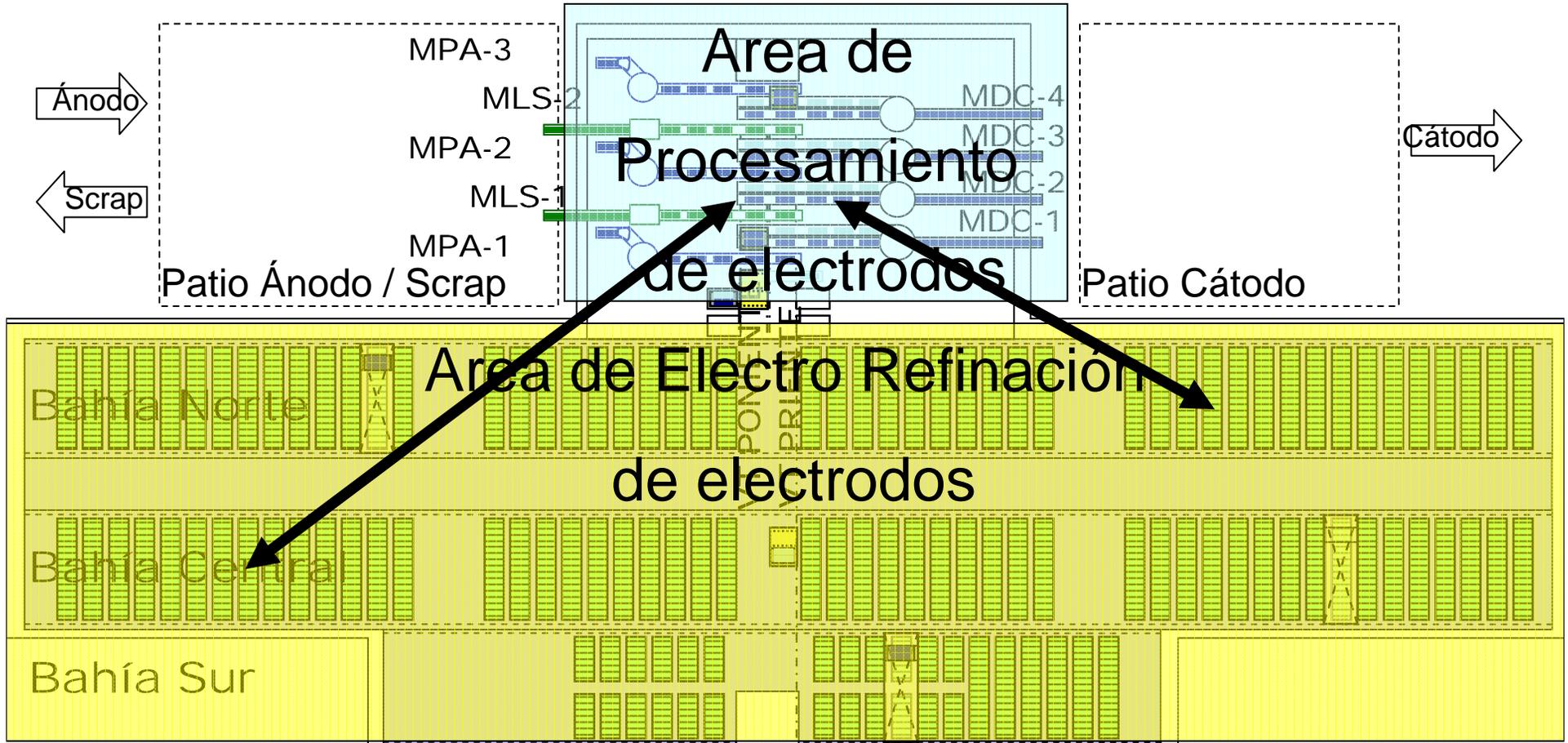
# Layout Interno

Celdas: 2,336 u **Ánodos:** 56 u/Celda

**MAQ:** MPA: M. Prep.Ánodo / **MDC:** M.Despegadora Cat. / **MLS:** M.Lavadora Srcap

**Sistema Automatizado Materiales:**

BAY CARRIER (BC: 3u) / TRANFER CARRIER (4u) / AUTOMATED GUIDED CARRIER (6u)

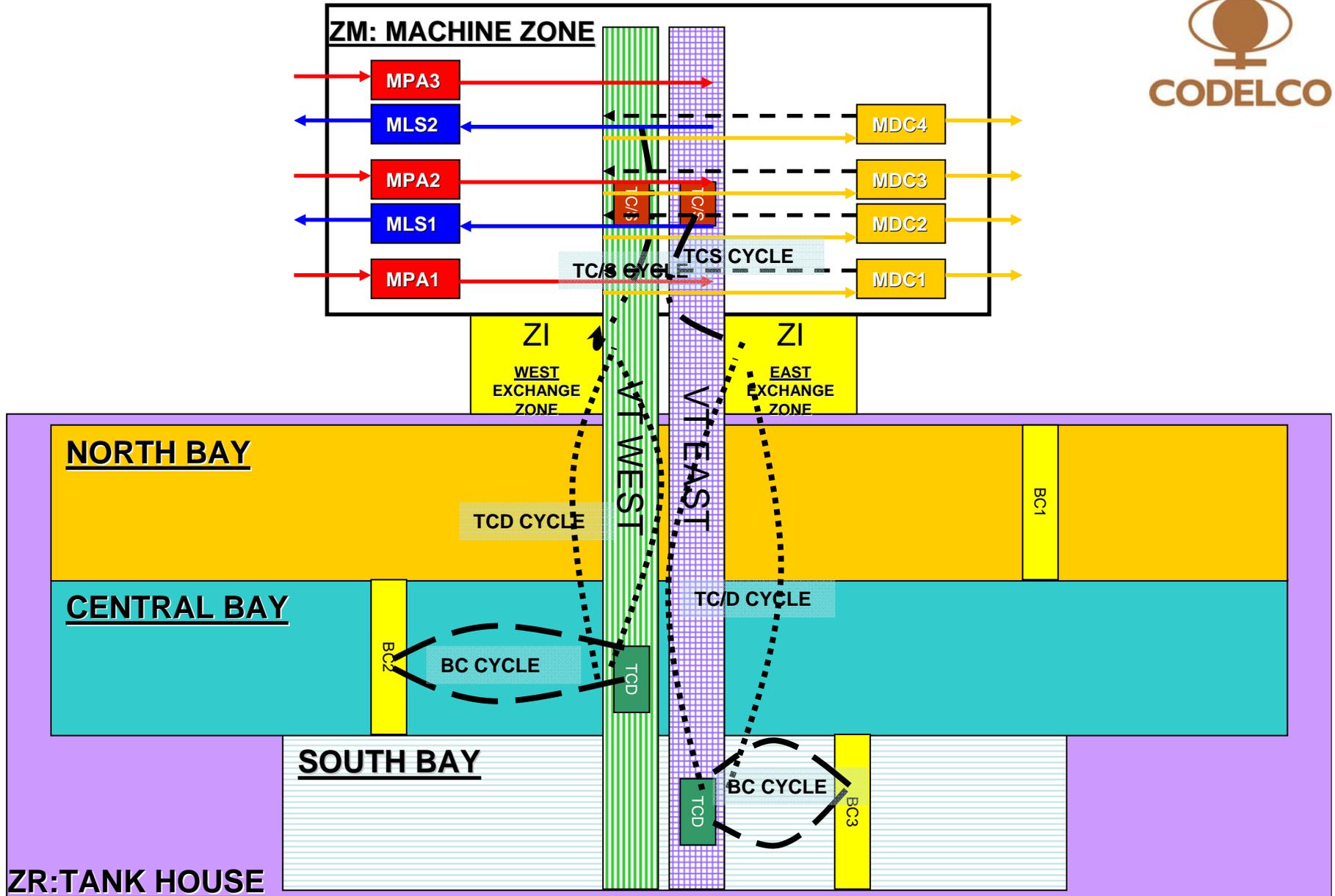




# Manejo de Materiales

- Proceso de Transporte
- Equipos
- Arquitectura de Control
- Características Técnicas

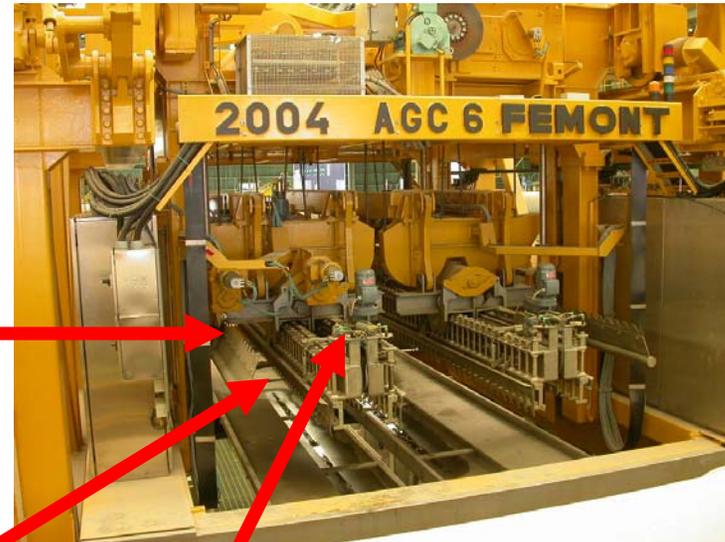
# Proceso de Transporte



# Equipos Móviles (Carriers)



AGC: Automated Guided Carrier

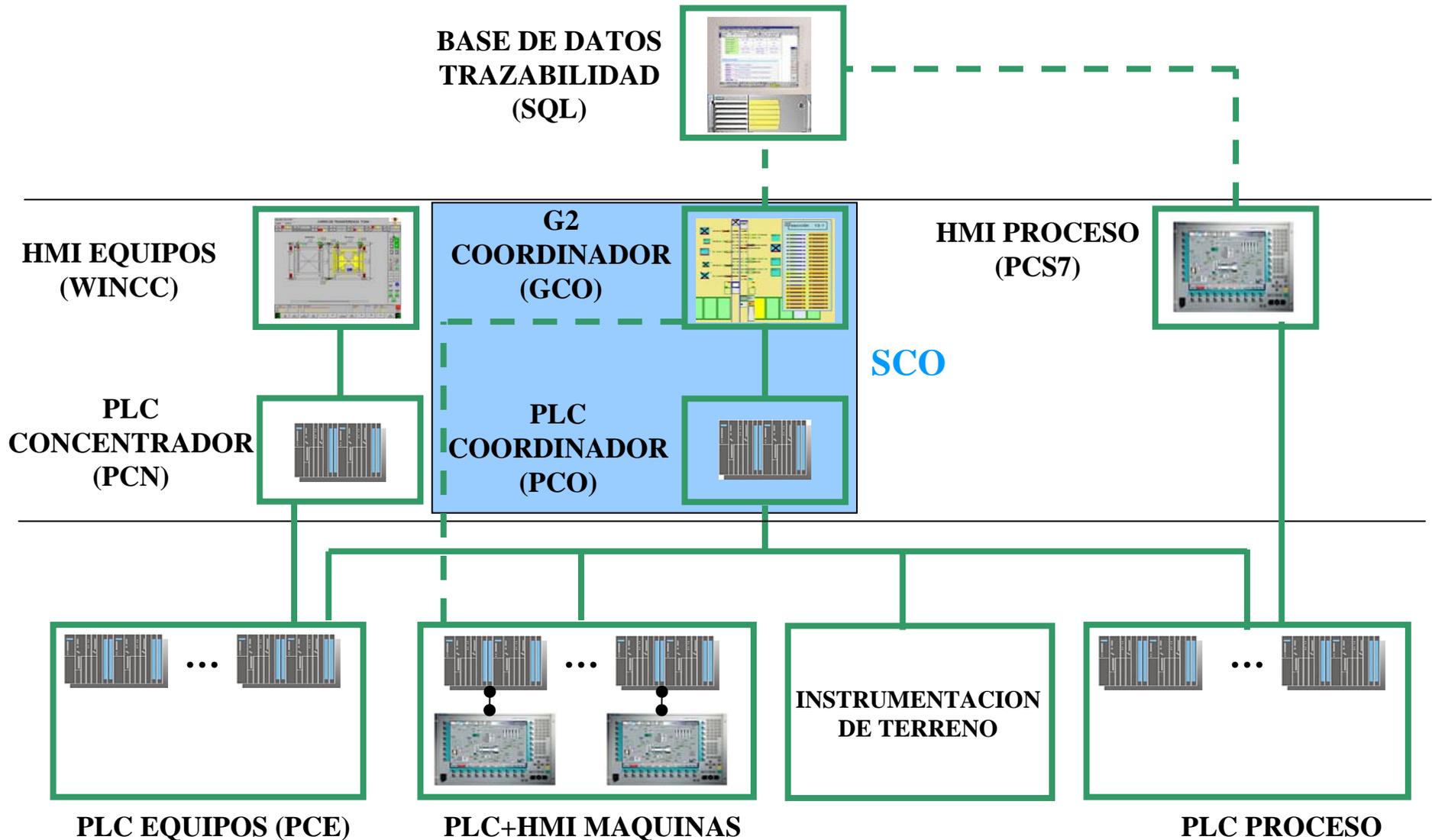


BC: Bay Carrier



TC: Transport Carrier

# Arquitectura Sistema de Control



# Características Técnicas

## Carriers



- Accionamientos:
  - Motores Eléctricos con VDF + Encodificador
  - Motores de desplazamiento lineal
- Instrumentación y Control
  - PLC SIMATIC S7
  - Red de Campo: ProfiBus DP
  - Sensores de proximidad, Distancia (Laser), Visión, Peso
- Wireless
  - 802.11b / AP´s instalados en estructura y clientes en Carriers
- Seguridad
  - Personas: Áreas confinadas (Zona de Seg.), GAP de Celdas, Procedimientos
  - Equipos: Barras de desaceleración, Proximidad (Láser)
  - Sistema Coordinador: Códigos de Autorización



# Características Técnicas

## Plataforma de Automatización

- **Coordinador de Operaciones (SCO)**
  - Sistema conformado por PLC (PCO) y Servidor de Control ISCP-G2 (GCO)
    - PCO: Monitorea seguridad equipos y coordina comunicaciones entre Carriers y Control (SCO)
    - GCO: Calcula y genera la secuencia de comandos a equipos para cosechas o imprevistos
- **Simulador**
  - Emula la operación de control, simulando la respuesta de terreno
- **Trazabilidad**
  - Captura datos de proceso (electrodos y soluciones) para su seguimiento
- **Planificador**
  - Estima la mejor mezcla de cosechas, considerando tiempos de producción y edad de electrodos

# Características y Elementos Relevantes

- Ingeniería
  - Evaluación de producción
  - Condiciones mecánicas de proceso
  - Control de Posición
- Puesta en Marcha
  - Carriers
    - Pruebas Pre Operacionales
    - Evaluación Propagación Radio
  - Coordinador de Operaciones
    - Reactivación frente a imprevistos

# Evaluación de Producción Simulación de Operaciones



- Herramientas estáticas
  - Subestimación de capacidad por uso de estimación estáticas (Uso de Tablas con Generación de Números Aleatorios)
- Herramientas dinámicas
  - Simulación dinámica con variables aleatorias
- Modelo de simulación: Activo para el proyecto y la operación.



# Condiciones Mecánicas del Proceso

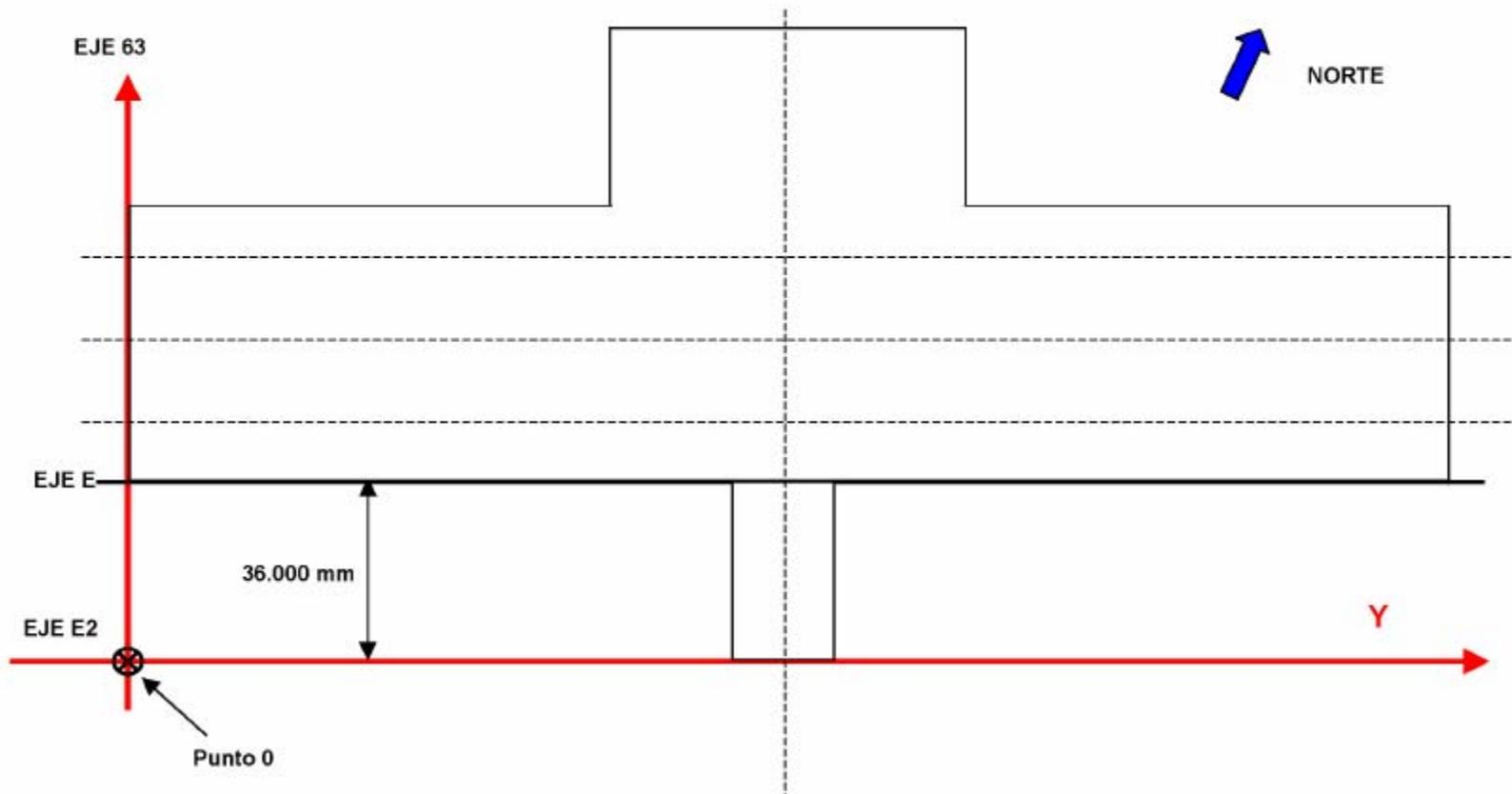
## Antecedentes

- 2.336 celdas x 9 soportes en área de 400 x 200 m con +/- 2 mm
- Carriers a 8 Km/Hr y 150 Ton
- Transporte de electrodos en equipos y estructuras reales (Desplazamiento y flexión de estructuras metálicas)
- Carga y descarga en celdas existentes y soportes de máquinas con posiciones sujetas a cambio (dilatación, alineamiento y nivelación)

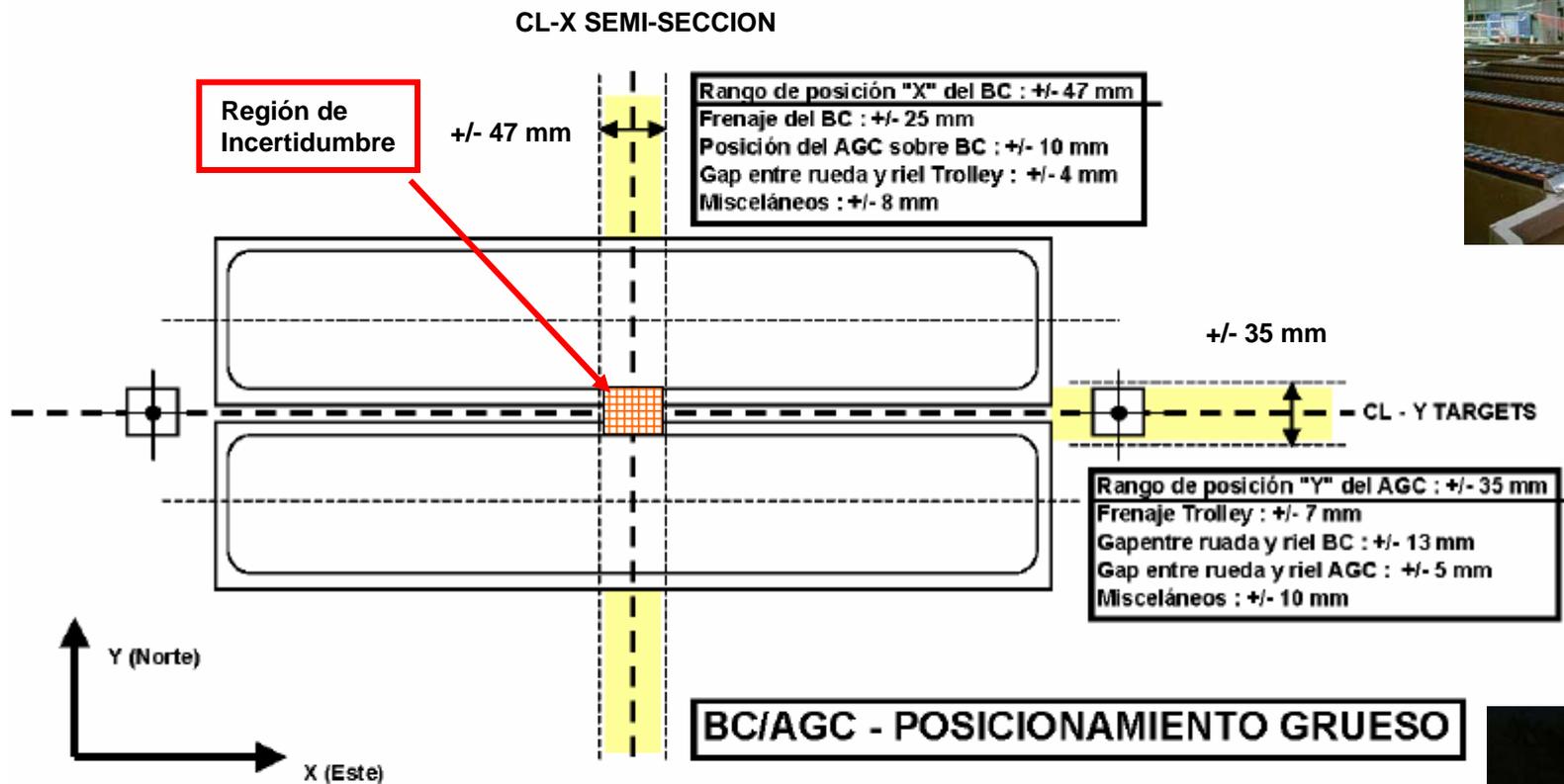
# Control de Posición

- Control Grueso
  - Dejar electrodos en “cercanías” (Zona de Incertidumbre) del objetivo (Celdas y soportes de Maquinas)
- Control Fino
  - Detectar la distancia entre el punto deseado (target) y la condición actual
  - Corregir la posición

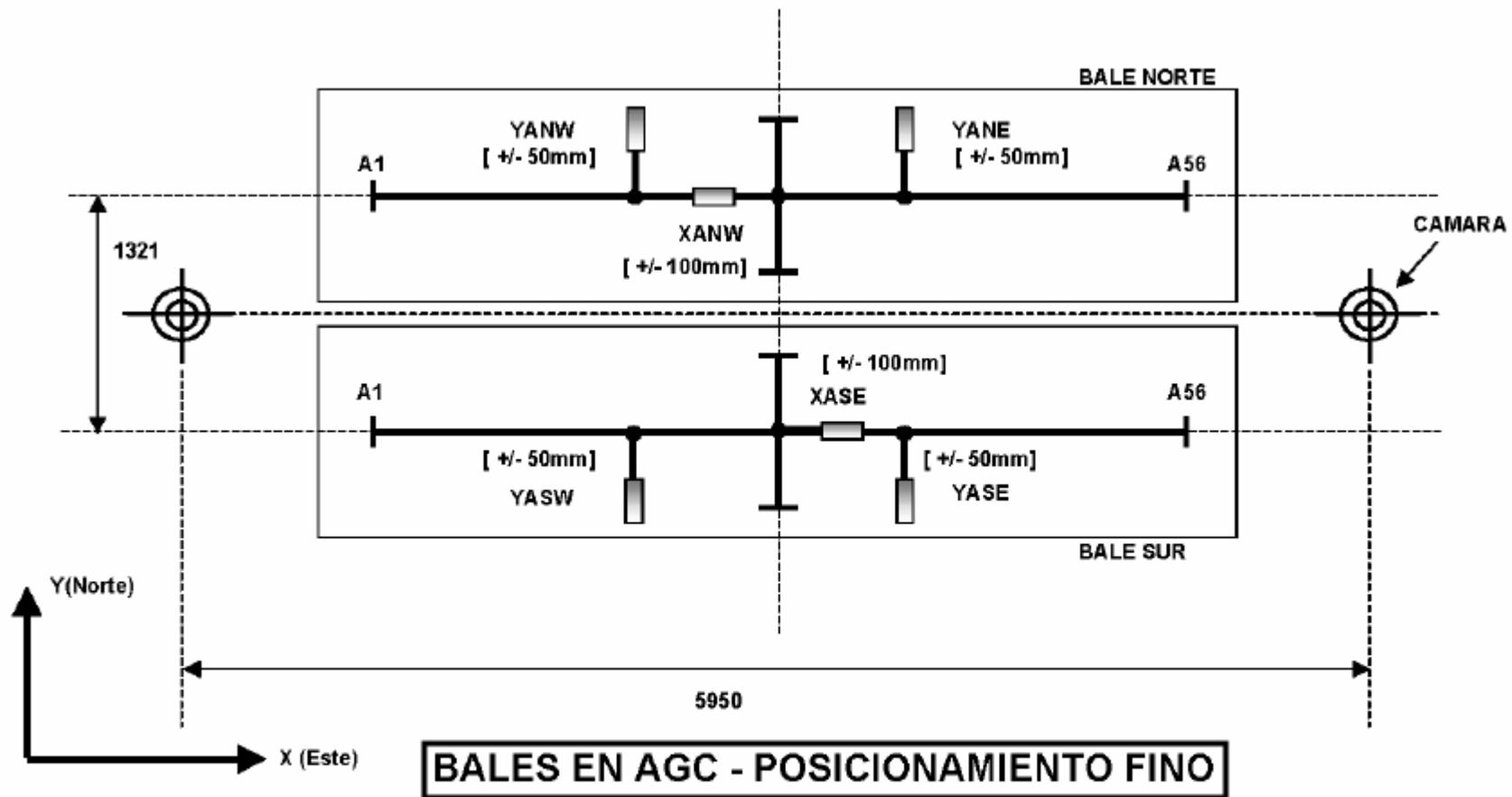
# Sistema Global de Coordenadas



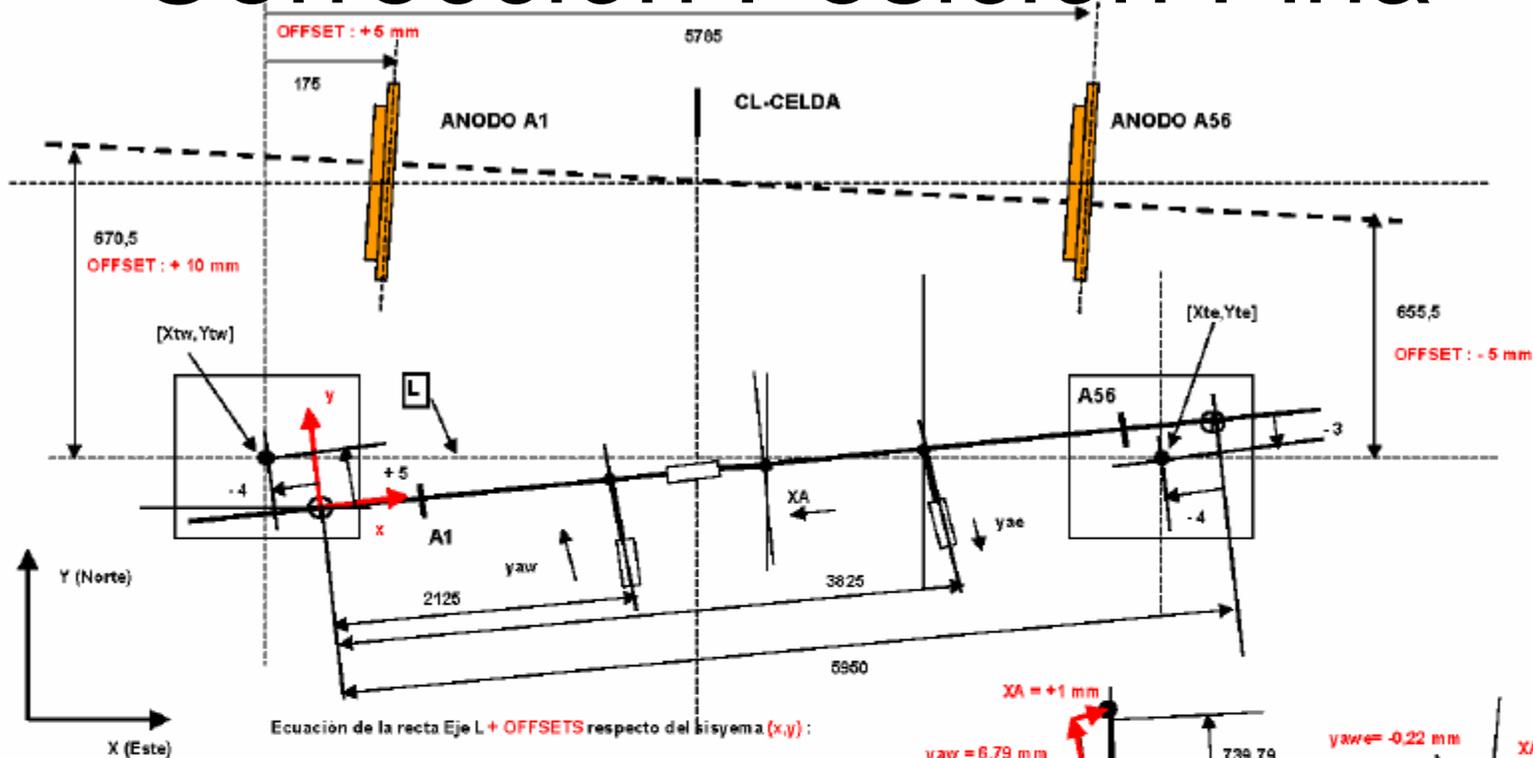
# Incertidumbre en Posición



# Accionamientos para Posición Fina



# Corrección Posición Fina



Ecuación de la recta Eje L + OFFSETS respecto del sistema (x,y):

Ecuación recta que pasa por dos puntos (x1, y1) y (x2, y2)

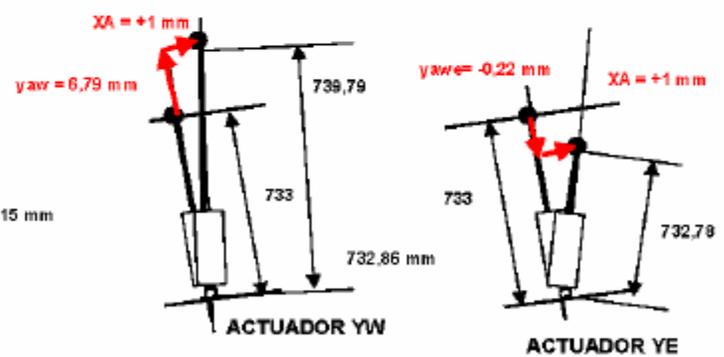
$$\frac{y - y1}{x - x1} = \frac{y2 - y1}{x2 - x1}$$

$$\frac{y - (5 + 10)}{x - (-4 + 5)} = \frac{(-3 - 5) - (5 + 10)}{(5950 - 4 + 5) - (-4 + 5)} \quad y = -0,003866 x + 15,0039$$

$$yaw = (-0,003866 * 2125 + 15,0039) = 6,79 \text{ mm}$$

$$yae = (-0,001345 * 3825 + 4,9946) = -0,22 \text{ mm}$$

$$XA = -4,00 + 5 = +1 \text{ mm}$$



$$YAW = 739,79 - 733 = 6,79 \text{ mm}$$

$$YAE = 732,78 - 733 = -0,22 \text{ mm}$$

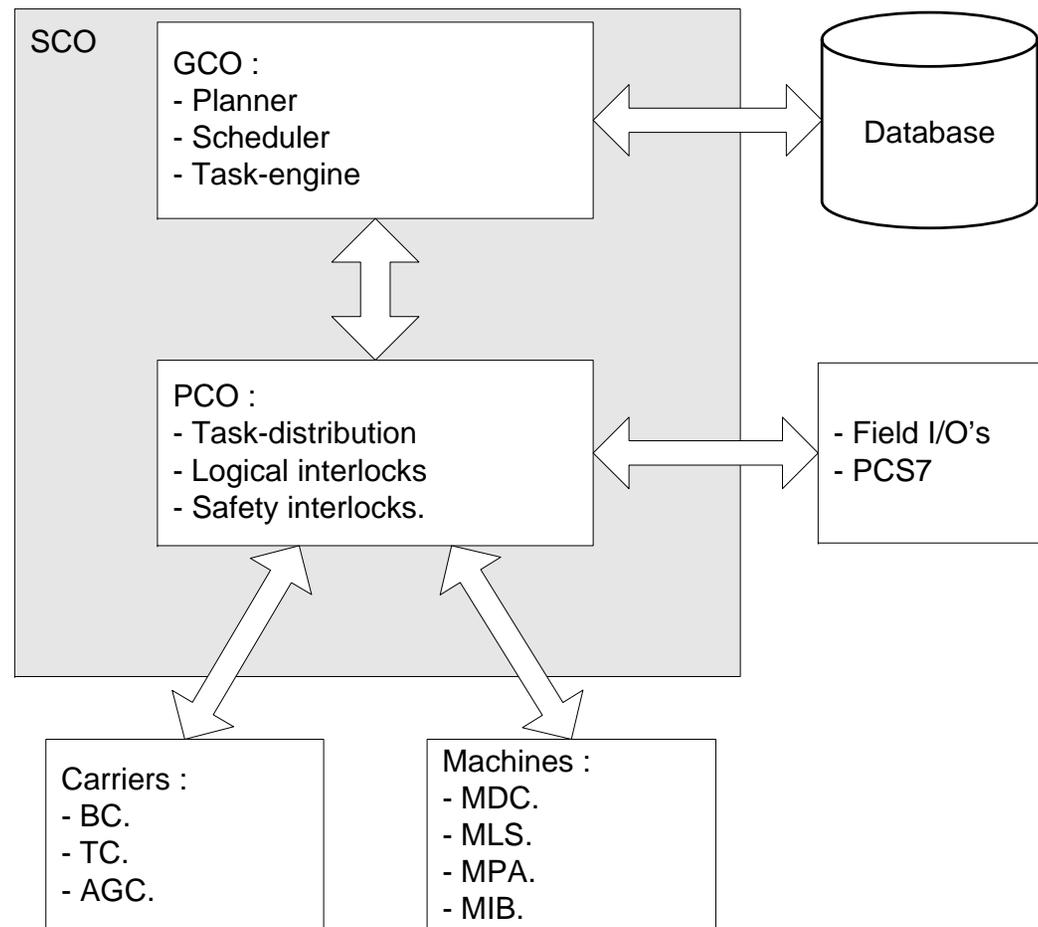
**POSICIONAMIENTO FINO - CON OFFSETS**

# Sistema de Control Manejo de Materiales

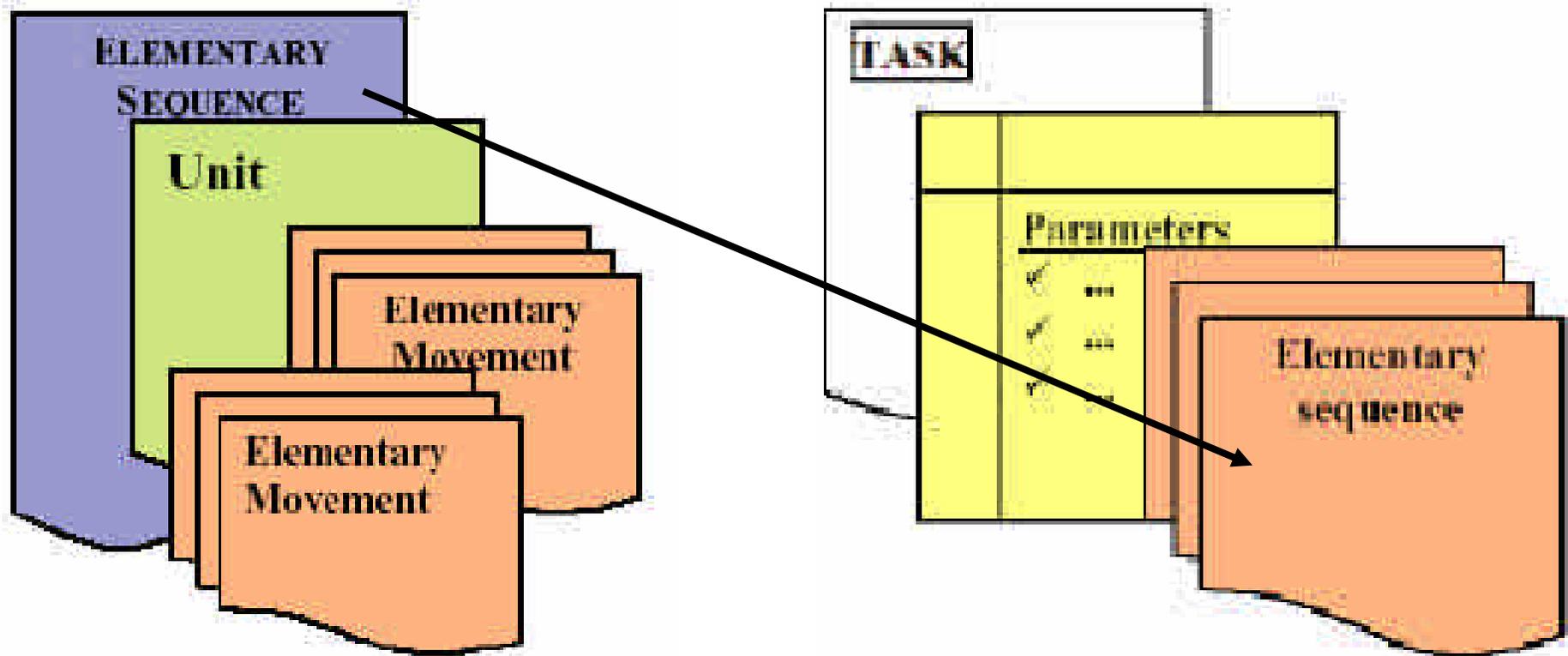


- Arquitectura de Plataforma de Automatización
- Control de Equipos Móviles
- Comunicaciones Inalámbricas
- Coordinador de Operaciones
- Trazabilidad

# Arquitectura de Plataforma de Automatización



# Esquema Lógico de Control Carriers



Mov.Elemental: Acción sencilla de Actuador

Sec.Elemental: Secuencias de Actuadores asociados a una unidad

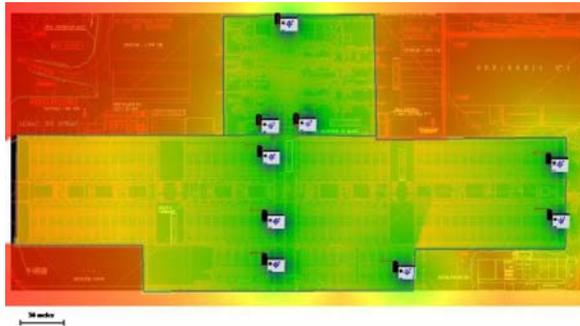


# Evaluación de Propagación **CODELCO**

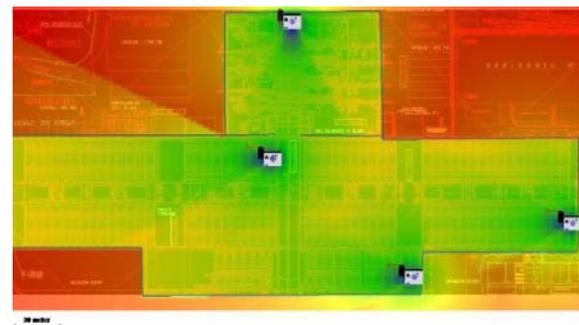
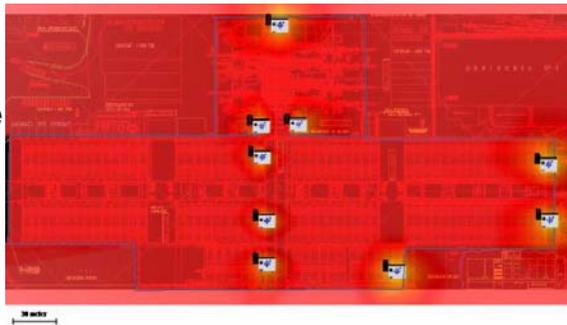
Original

Mejorada

Intensidad

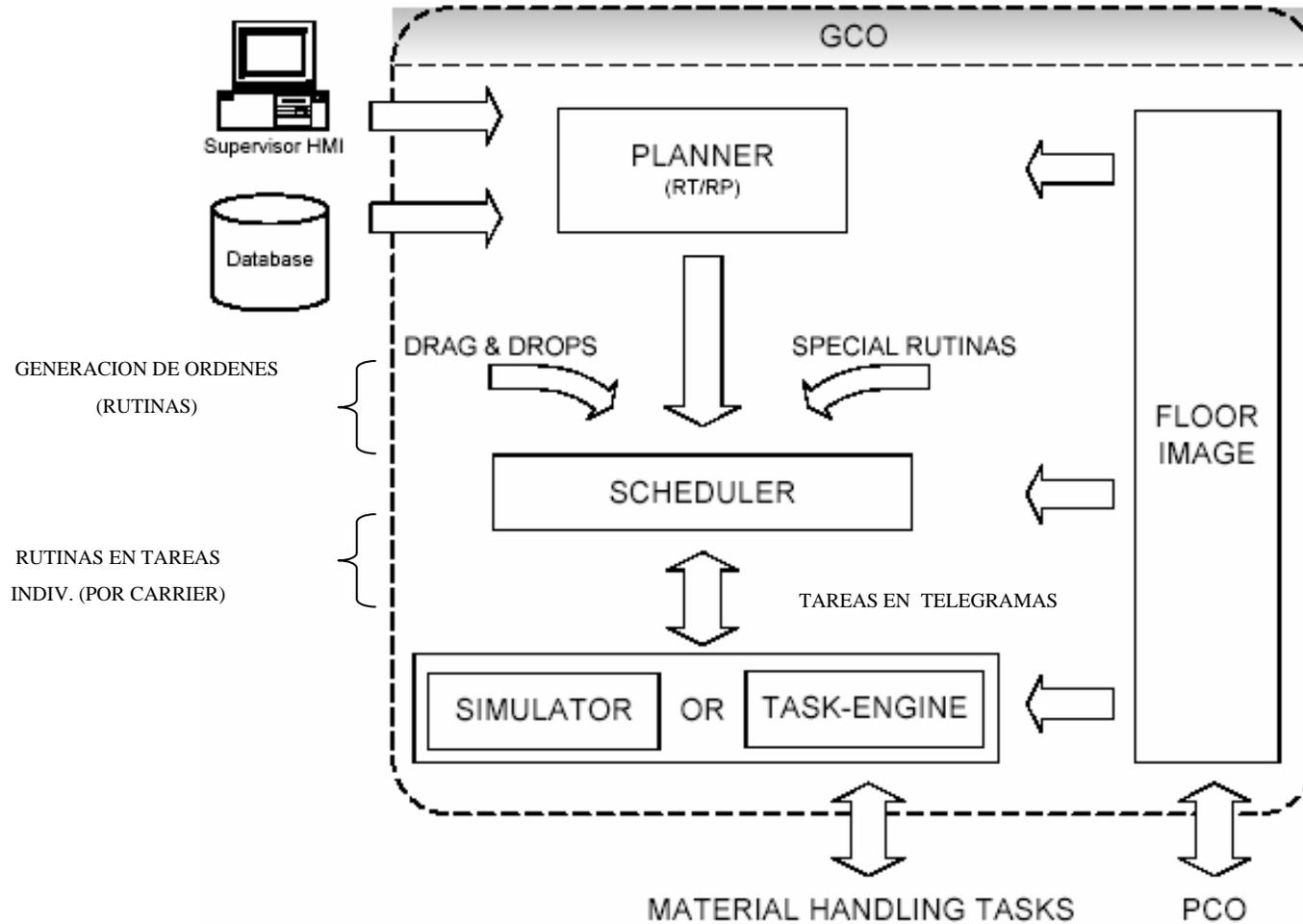


Signal/Noise

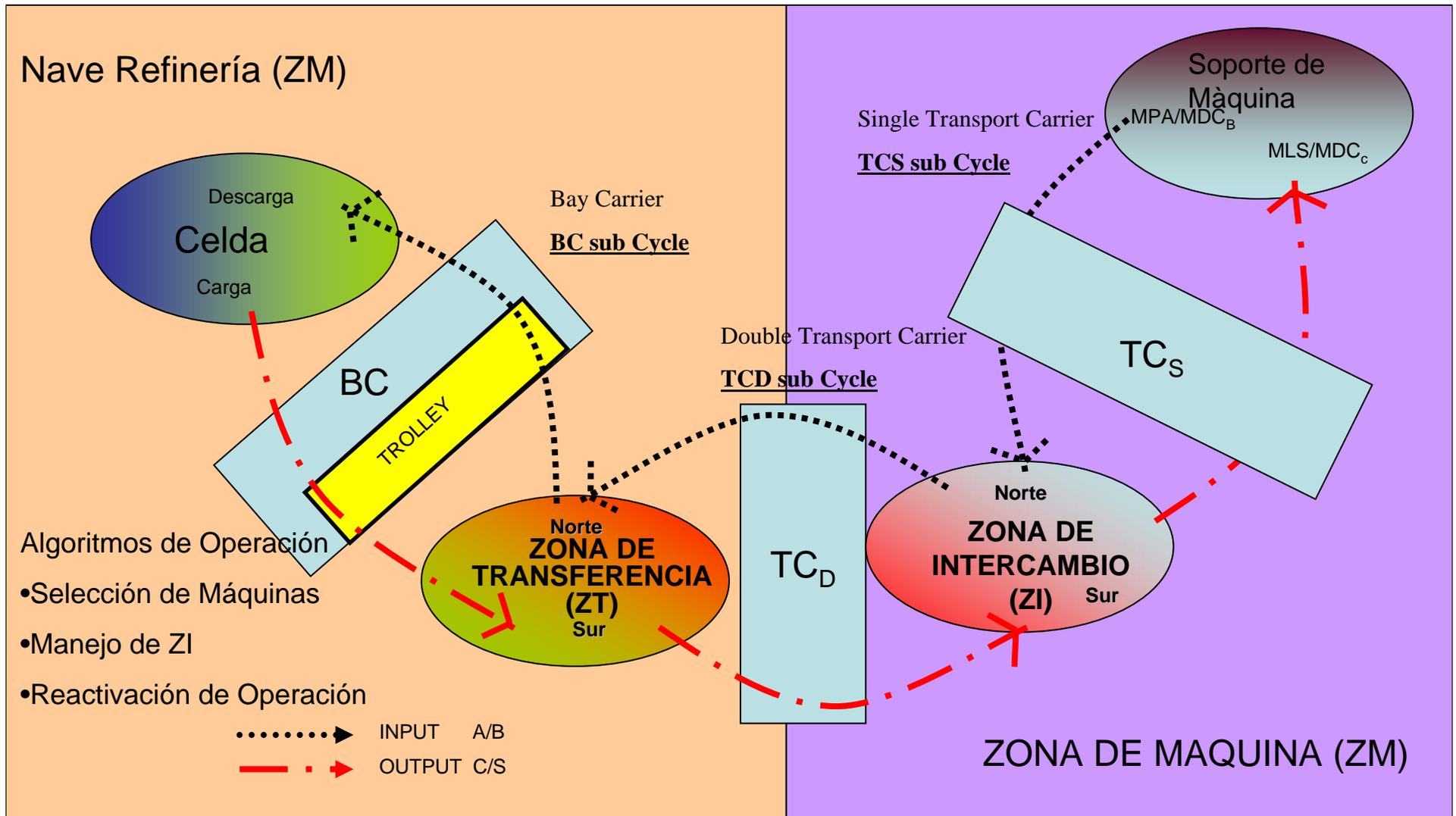


Color	Signal Strength (in %/dBm)	Signal-to-Noise Ratio (in %)
Blue	100.00 / -43.48	100.00
Blue	95.83 / -45.68	95.83
Blue	91.67 / -47.89	91.67
Blue	87.50 / -50.09	87.50
Green	83.33 / -52.29	83.33
Green	79.17 / -54.50	79.17
Green	75.00 / -56.70	75.00
Green	70.83 / -58.91	70.83
Green	66.67 / -61.11	66.67
Green	62.50 / -63.32	62.50
Yellow	58.33 / -65.52	58.33
Yellow	54.17 / -67.73	54.17
Yellow	50.00 / -69.93	50.00
Yellow	45.83 / -72.14	45.83
Orange	41.67 / -74.34	41.67
Orange	37.50 / -76.54	37.50
Orange	33.33 / -78.75	33.33
Red	29.17 / -80.95	29.17
Red	25.00 / -83.16	25.00
Red	20.83 / -85.36	20.83
Red	16.67 / -87.57	16.67
Red	12.50 / -89.77	12.50
Red	8.33 / -91.98	8.33
Red	4.17 / -94.18	4.17

# ESQUEMA FUNCIONAL GCO



# Coordinador de Operaciones

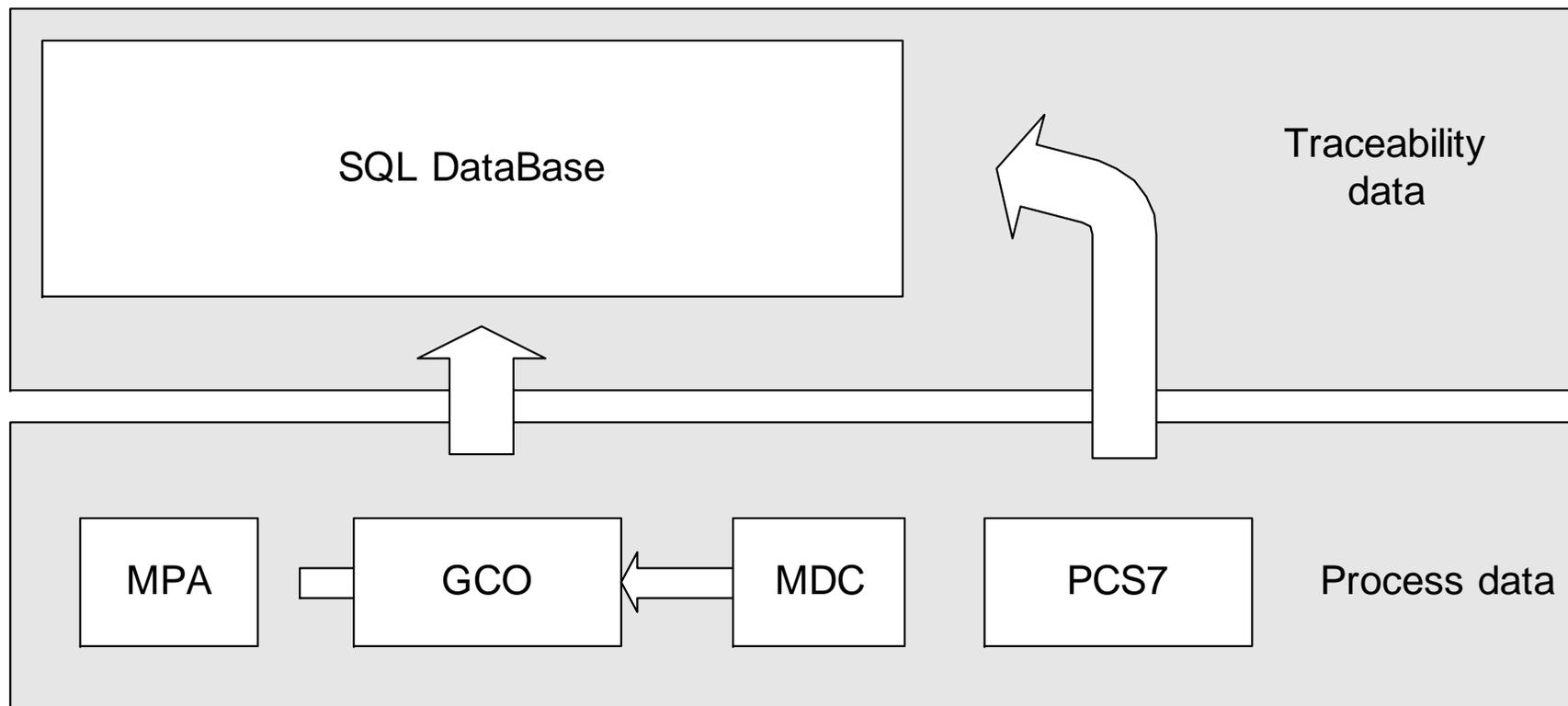




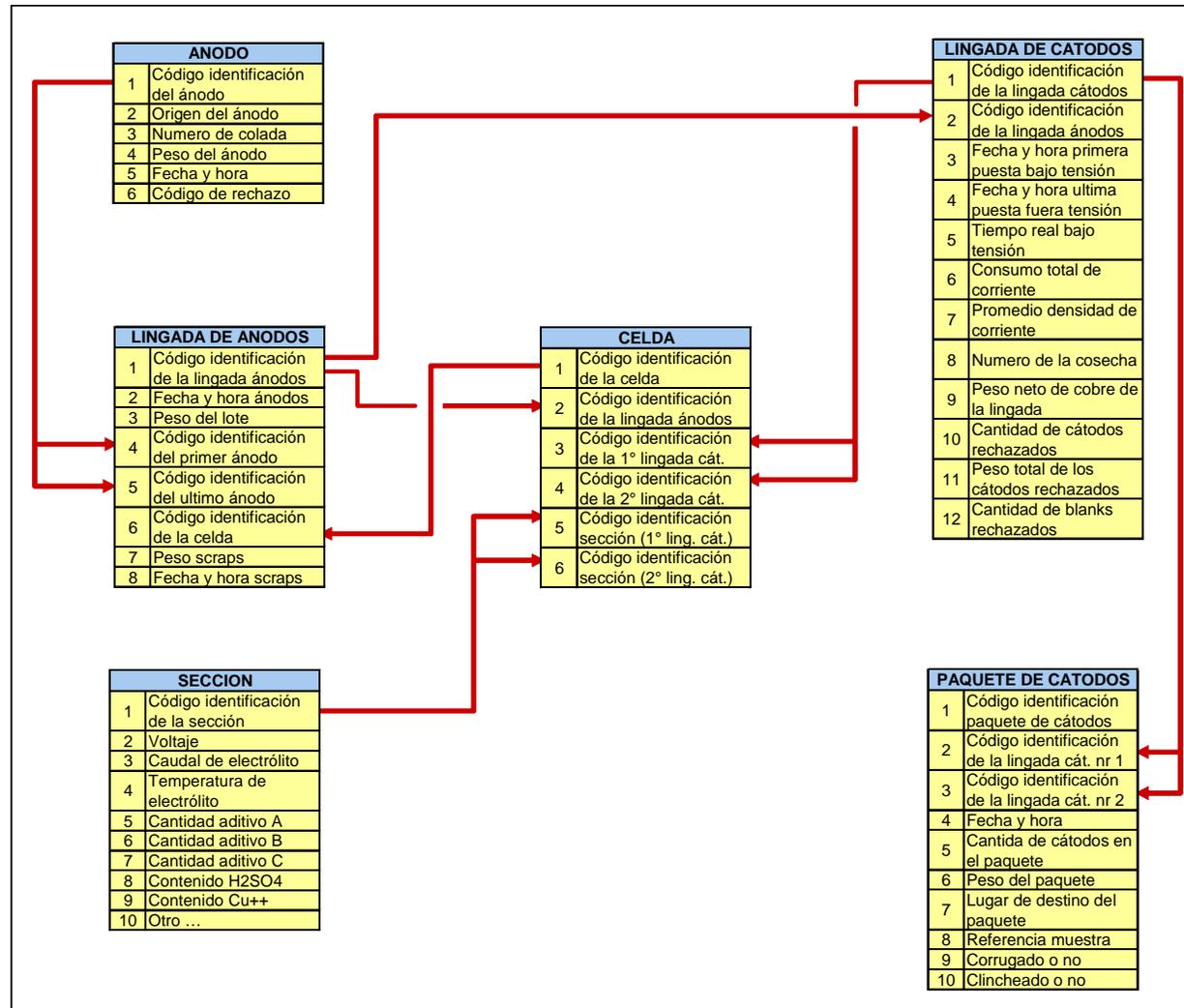
# Trazabilidad

- Diagrama de Bloques
- Estructura de Datos
- Ejemplo de Etiqueta

# Diagrama de Bloque de Trazabilidad



# Estructura de Datos Trazabilidad





# Ejemplo de Etiqueta

**MARK**  
**CODELCO**  
CODELCO NORTE  
**NET Kg**

CORRELATION : N°Semana-N°Paquete  
DATE : dd/mm/aa cosecha  
LOT : Semisección a cosecharse  
NUM PIECES : XX

CÓDIGO DE BARRAS



# Comentarios finales

## Áreas de interés

- Utilización de Modelos de Simulación (Evaluación Capacidad, Entrenamiento y Evaluación de Casos)
- Atención a las características del proceso a controlar (mecánica)
- Pruebas de equipos en terreno (ajustes individuales y finales)
- Reactivación de Operaciones (“ON THE FLY” / “DRAG & DROP”)
- Pruebas de Sistema con Emulador y “Puesta en Escena”
- Herramientas de Optimización al final de la puesta en marcha



Fin