


Co-procesamiento de residuos peligrosos
en hornos cementeros



Resumen de

Guías Técnicas de BASILEA



Contenido



Guías Técnicas de Co-procesamiento - BASILEA



Aspectos Generales

Breve resumen

Algunas definiciones relevantes

- **Co-procesamiento:** el uso de residuos adecuados en procesos de manufactura con el propósito de recuperar energía y/o minerales y disminuir el uso de combustibles o materias primas convencionales
- **Planta de co-incineración:** cualquier planta estacionaria o móvil cuyo principal objetivo es la generación de energía o la producción de materiales utilizando residuos como un combustible regular o adicional, o donde los residuos son tratados térmicamente para efectos de disposición. Se considerará un simple planta de incineración si el principal propósito de la planta no es la generación de energía o fabricación de productos sino la destrucción.
- **Eficiencia de destrucción y remoción (DRE):** eficiencia en la destrucción y remoción de un compuesto orgánico calculada matemáticamente: $DRE = ((W_{in} - W_{out\ stack})/W_{in}) \times 100$
- **Eficiencia de destrucción (DE):** una medida porcentual de destrucción de un compuesto orgánico en un proceso de combustión calculado: $DE: ((W_{in} - W_{out\ combustion\ chamber})/W_{in}) \times 100$
- **Pre-procesamiento:** es el proceso de preparación de combustibles o materias primas alternas a partir de diferentes flujos de residuos que no son uniformes de manera que puedan ser usados en el horno. Se requiere para cumplir especificaciones técnicas y administrativas y así cumplir estándares ambientales, de proceso y de calidad de cemento.
- **Prueba piloto (trial burn):** prueba de emisiones para demostrar cumplimiento de DRE y DE y otros límites de emisión.

Alcance de las guías

- Sólo hornos cementeros
- Materias primas y combustibles alternos
- Residuos peligrosos según Basilea. Puede aplicarse guía a materiales no peligrosos



Co-procesamiento de residuos peligrosos en hornos cementeros

- Forma de recuperar energía y minerales
- Forma de disminuir dependencia en combustibles convencionales
- Co-procesamiento es un concepto de desarrollo sostenible basado en los principios de Ecología Industrial y una perspectiva de ciclo de vida
- Forma de conservar recursos naturales no renovables
- Es una opción preferible a la de incineración o relleno sanitario
- Forma de reducir emisiones de CO₂ y costos de producción
- Proceso que no requiere disposición final de sub-productos o cenizas (todo se aprovecha).
- Debe aplicarse BAT (best available techniques) y cumplirse requisitos de carga y salida y controles de emisiones.
- Debe existir un marco jurídico adecuado para gestión de residuos
- Sólo hornos cementeros que cumplan con todos los requisitos deben co-procesar

Co-procesamiento de residuos peligrosos en hornos cementeros Con't

- Proceso limitado a las capacidades técnicas del horno. Las características esenciales de un horno para usar residuos peligrosos u otros residuos vía puntos de inyección adecuados son:
 - Alcanzar temperaturas máximas de 2,000 C en llama en quemador principal
 - Retención de gases de aprox 8 sec a una temperatura < 1200 C
 - Temperatura de material aprox 1450 C en la zona de sinterización del horno
 - Temperatura de sólidos de > 850 C en calcinador o sistema secundario de quemador.
 - Lograr condiciones de quema uniformes a pesar fluctuaciones de carga mediante altas temperaturas y largos tiempos de residencia de gases
 - Capacidad de destruir contaminantes orgánicos a altas temperaturas y largos tiempos de residencia
 - Absorción de componentes gaseosos como HF, HCL y SO₂ en reactivos alcalinos
 - Reciclado de energía y minerales de manera simultanea
 - Capacidad de incorporar metales pesados no volátiles en el clinker

Guía general sobre co-procesamiento ambientalmente responsable en hornos cementeros

- Principios de co-procesamiento:
 - Se obtiene un beneficio ambiental real al co-procesar
 - Debe respetarse jerarquía de manejo de materiales
 - Deben evitarse emisiones adicionales e impactos negativos sobre la salud humana
 - La calidad del cemento no se puede alterar
 - Las compañías que co-procesan deben ser «competentes» y responsables
 - La implementación del co-procesamiento debe considerar las circunstancias nacionales
 - Se debe contar con un EIA, permisos y autorizaciones
 - Deben cumplirse todas las regulaciones aplicables
 - Asegurar el uso de localizaciones e instalaciones adecuadas para el almacenamiento y pre-procesamiento
 - Se requiere confiabilidad de suministro de agua y electricidad
 - Aplicar BAT para prevención y control de emisiones
 - Gas de salida debe ser tratado y enfriado < 200 C
 - Estructura organizacional claramente definida con roles y responsabilidades claros

Guía general sobre co-procesamiento ambientalmente responsable en hornos cementeros ... con't

- Principios de co-procesamiento Con't:
 - Debe tenerse un sistema de reporte de errores (acciones preventivas y correctivas)
 - Uso de personal debidamente calificado y entrenado
 - Debe tenerse un sistema de respuesta a emergencias bien establecido con entrenamiento regular
 - Sólo usar servicios de transporte y gestión autorizados
 - Usar sistemas de recepción, almacenamiento y alimentación de alternos seguros y responsables
 - Debe contarse con laboratorio debidamente equipado para la aceptación de residuos y control de calidad de carga
 - Debe mantenerse absoluta trazabilidad con registros de residuos y de emisiones.
 - Debe tenerse rutinas de control de calidad de producto
 - Debe tenerse un sistema de gestión ambiental enfocado al mejoramiento continuo
 - El proceso debe ser rutinariamente auditado por el gobierno
 - Mantener relaciones y comunicación abierta con comunidades y autoridades locales y forma de registrar quejas o comentarios
 - Los reportes de verificación sobre desempeño y cumplimiento deben ser públicos y frecuentes

Guía general sobre co-procesamiento ambientalmente responsable en hornos cementeros ... con't

- Consideraciones para seleccionar residuos para co-procesamiento:
 - Como regla general: el residuo debe agregar valor al proceso (calórico o mineral).
 - El uso de hornos de cemento como operaciones de disposición de residuos (destrucción) sólo debe considerarse si hay beneficios ambientales netos (ie. Reducción de NOx) o cuando no hay otra alternativa ambientalmente adecuada y costo-efectiva. En dichos caso se requiere un permiso específico luego de haberse analizado otras alternativas.
 - Debido a la naturaleza heterogénea de los residuos se requiere un mezclado y preparación previa para garantizar una alimentación continua y homogénea en el horno. No debe considerarse como una forma de diluir la concentración de ciertos constituyentes peligrosos para «cumplir» la normativa.

Guía general sobre co-procesamiento ambientalmente responsable en hornos cementeros.... Con't

- Residuos aceptables para co-procesar en hornos de cemento:
 - No existe una lista uniforme de residuos aplicable a cualquier horno debido a las diferencias técnicas de cada proceso, condiciones de operación, composición de materiales, alimentación, tratamiento de gases, calidad de clinker y materias primas, etc. La lista debe ser específica por sitio (horno)
 - El operador debe aplicar un procedimiento de evaluación para determinar los riesgos a la salud y la seguridad de las personas involucradas, el impacto sobre emisiones y calidad del clinker, etc.
 - Algunas variables que deben considerarse al seleccionar residuos son:
 - Contenido de alkali (sodio, potasio, etc), azufre y cloro
 - Poder calorífico
 - Contenido de agua
 - Contenido de cenizas
 - Tasas de alimentación y flujo de emisiones
 - Estabilidad de la operación
 - Contenido de orgánicos
 - Contenido de metales pesados en carga
 - Impacto en calidad de clinker de acuerdo a niveles de fosfatos, fluor y cloro
 - Presencia de Thalium y cromo en cemento así como de elementos que pueden lixiviar



Guía general sobre co-procesamiento ambientalmente responsable en hornos cementeros.... Con't

- Residuos aceptables para co-procesar en hornos de cemento:
 - No todos los residuos son aceptables para co-procesamiento: sólo residuos de composición y origen conocido
 - Algunos residuos peligrosos que **en principio** son aceptables para co-procesar son:
 - Lodos de fondos de tanque
 - Lodos de acid alkyl
 - Derrames de aceite/petroleo y Acid tras de refinarias
 - Aceites usados, incluyendo fluidos hidráulicos
 - Aguas de sentina y mezclas de aguas con hidrocarburos
 - Solids or emulsions
 - Washing liquids
 - Mother liquors
 - Still bottoms y residuos de racciones industriales producto de la formulación y uso de químicos básicos, plásticos, hules, fibras sintéticas, coloranges orgánicos, pigmentos, pesticidas orgánicos
 - Pharmaceuticals
 - Residuos de pinturas y tintas
 - Residuos de la industria de la fotografía, metalmecánica, electrónica y textil
 - **NO deben aceptarse**, en principio, los siguientes materiales:
 - Residuos nucleares o radioactivos
 - Residuos electrónicos
 - Baterías enteras
 - Residuos corrosivos, incluyendo ácidos minerales
 - Explosivos
 - Residuos con cianuro
 - Residuos con asbestos
 - Residuos hospitalarios infecciosos (sujeto a ciertas condiciones)
 - Armas químicas y biológicas
 - Residuos que contienen mercurio
 - Residuos de procedencia y composición desconocida e impredecible (ie. Residuos municipales sin tratamiento y clasificación)

Guía general sobre co-procesamiento ambientalmente responsable en hornos cementeros.... Con't

- Destrucción de residuos sin valorización:
 - Combustión de residuos o destrucción de residuos peligrosos en un horno de cemento sin ninguna sustitución mineral o energética no debe considerarse una operación de recuperación o valorización
 - Para determinar si hay valorización se pueden establecer límites de poder calórico inferior y composición química (cenizas, CaO, CaCO₃, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, SO₃ y/o agua). Ver fig I y II
 - Sin embargo, por las condiciones operativas del horno, si el Gobierno lo permite, los hornos pueden ser usados para destruir o transformar irreversiblemente sustancias peligrosas, particularmente aquellas que son problemáticas como por ejemplo pesticidas obsoletos. En dichos casos se requieren pruebas piloto de destrucción para demostrar desempeño.
 - Buen diseño de horno y excelencia operacional son críticas para usar los hornos de cemento como operaciones de destrucción

Guía general sobre co-procesamiento ambientalmente responsable en hornos cementeros.... Con't

- Eficiencia de destrucción de sustancias orgánicas peligrosas:
 - Pruebas piloto profesionalmente diseñadas y supervisadas por entes independientes deben ejecutarse para co-procesar COPs (contaminantes orgánicos persistentes) . El operador debe demostrar que la operación base es controlada y segura.
 - La prueba piloto debe ser usada para determinar DRE y DE. Normalmente se requieren 3 corridas.
 - Las pruebas piloto deben ejecutarse con límites operativos máximos (alimentación de sustancias peligrosas y producción de clinker). Los permisos se otorgan posteriormente según esos límites una vez demostrado el DRE y DE.
 - La destrucción de PCBs se ha investigado en muchos países. Los hornos bien operados y diseñados logran DREs > 99.9999%, que se considera el mínimo estandar que debe alcanzarse.
 - Durante pruebas de destrucción de PCBs debe comprobarse que no se excede el límite de 0.1 ng TEQ/Nm³ de PCDDs/PCDFs.
 - En el anexo 1 se incluye una compilación de verificación de desempeño y resultados de pruebas piloto

Guía general sobre co-procesamiento ambientalmente responsable en hornos cementeros.... Con't

- Control y aseguramiento de la calidad:
 - El operador debe tener un programa amplio de control y aseguramiento de la calidad para garantizar que cumple las especificaciones de los estándares y que su operación, el ambiente y la salud de la gente no se ve afectada por el uso de residuos peligrosos
 - El plan de aseguramiento de la calidad debe servir para que el monitoreo, muestreo y datos analíticos sean precisos, exactos y completos. El plan debe cubrir flujo de residuos que se manejan con instrucciones claras sobre:
 - Organización y responsabilidades
 - Objetivos de aseguramiento de calidad (precisión, exactitud, representatividad y compatibilidad)
 - Procedimientos de muestreo
 - Procedimientos para manejar muestras y custodiarlas
 - Chequeos de control d calidad (blancos, picos, replicas, etc) y frecuencia
 - Pruebas, inspección , calibración y mantenimiento de equipos
 - Revisión de datos, verificación, validación y reportes
 - El operador debe contar con un laboratorio bien diseñado y equipado, con suficiente instrumentación para ejecutar los análisis de una manera oportuna. El laboratorio debe ser sujeto a pruebas periódicas para demostrar desempeño adecuado.
 - Precauciones de salud y seguridad ocupacional deben ser considerados en los muestreos y análisis
 - Los laboratorios deben ser auditados por entes externos para determinar efectividad del sistema de calidad, preferiblemente una vez al año

Guía general sobre co-procesamiento ambientalmente responsable en hornos cementeros.... Con't

- Aspectos de seguridad y salud ocupacional (SSO):
 - La salud y la seguridad ocupacional debe ser un aspecto prioritario en toda la operación de co-procesamiento y manejo de residuos peligrosos.
 - Debe tenerse un programa de SSO con estructura, roles y responsabilidades claramente definidas, que sirva para identificar, evaluar y controlar los riesgos así como para dar respuesta oportuna a emergencias. El alcance y contenido de este programa debe ser adecuado al tipo y grado de riesgos de la operación.
 - Se debe documentar los procedimientos para manejo seguro de residuos peligrosos y medidas de contingencia.
 - Toda la fuerza laboral debe ser informada de los riesgos y de las medidas de seguridad. Debe haber instrucciones fáciles de entender y seguir, accesibles para todos inclusive contratistas
 - **Análisis de riesgos:** todo riesgo y exposición potencial debe analizarse y se deben establecer controles operativos para proteger la SSO. Se recomienda usar técnicas como: job hazard analysis, job safety analysis, safety analysis reports, PHAs y job, task and hazards analysis.
 - **Control de accesos y riesgos:** para eliminar o controlar la exposición de trabajadores a riesgos debe considerarse el uso de controles de ingeniería (ventilación, uso de equipo remoto, etc), controles administrativos para manejar el acceso de personal a riesgos y condiciones seguras y equipo de protección personal. Deben considerarse los límites internacionalmente reconocidos de exposición (TLVs, PELs, IOELVs) según ACGIH, NIOSH, OSHA y EU.
 - Las MSDS (si hay) pueden usarse como guías para determinar niveles apropiados de protección

Guía general sobre co-procesamiento ambientalmente responsable en hornos cementeros.... Con't

- Aspectos de seguridad y salud ocupacional (SSO)... con't:
 - **Equipo de protección personal (EPP):** todos los empleados, contratistas y visitantes deben ser provistos de EPP. El personal involucrado debe estar totalmente conciente de los riesgos y capaz de seleccionar adecuadamente el EPP requerido y como usarlo y mantenerlo
 - **Entrenamiento:** todo colaborador debe ser entrenado según su función y responsabilidad previo a que participe en labores de manejo de residuos peligrosos. Estas actividades de entrenamiento deben documentarse y monitorearse. El entrenamiento debe incluir SSO, uso de EPP, procedimientos seguros, controles de ingeniería, seguimiento médico, etc.
 - **Seguimiento médico:** debe existir un programa de monitoreo de salud que inicie previo a la contratación de cada persona y que se mantenga durante su trabajo. La preselección de personal debe considerar los riesgos a los que estará expuesta la persona así como requisitos físicos y habilidad para trabajar con EPP. La salud de cada colaborador debe ser monitoreada con frecuencia.
 - **Respuesta a emergencias:** debe existir un plan y procedimientos de respuesta a emergencias. Como mínimo el plan debe incluir: coordinación con entes de apoyo externo, roles y responsabilidades, líneas de autoridad, entrenamiento y procedimientos de comunicación; reconocimiento y prevención de procedimientos, puntos de refugio y distancias seguras, seguridad y control del sitio, rutas de evacuación y procedimientos, mapa del sitio con identificación de zonas riesgosas, accesos, etc; procedimientos de descontaminación, procedimientos de atención médica, EPP y sistemas de alerta para emergencias; documentación y procedimientos de seguimiento

Guía general sobre co-procesamiento ambientalmente responsable en hornos cementeros.... Con't

- Comunicación y participación de Stakeholders (grupos de relación):
 - Stakeholders: son aquellas personas, grupos, entidades, etc que pueden ser potencialmente afectados por la operación
 - Debe tenerse un programa de comunicación pública e involucramiento de grupos de relación, particularmente comunidades que deben conocer bien la operación a través de presentaciones, reuniones y contactos personales
 - Cada operación debe tener objetivos claros de trabajo con los stakeholders
 - Los operadores y las autoridades deben estar preparadas para responder y atender consultas al público en general sobre los posibles impactos de co-procesamiento
 - La comunicación debe ser abierta y transparente





ACEPTACIÓN DE RESIDUOS Y PRE- PROCESO

Breve resumen 

Introducción

- El pre-procesamiento es requerido para asegurar al operador del horno una alimentación estable y homogénea de materias primas y combustibles alternos
- Los flujos de residuos que se aceptan deben cumplir con los requisitos técnicos y administrativos establecidos para asegurar cumplimiento de estándares ambientales
- En algunos casos, por ejemplo aceites o llantas son usadas tal cual se reciben, sin pre-proceso
- El operador debe asegurarse de que sólo se reciben residuos de fuentes conocidas y confiables y que se rechacen entregas que no cumplen especificaciones
- Se debe proteger la integridad de toda la cadena de abastecimiento, incluyendo transporte (sólo autorizado y competente) para evitar accidentes producto de incompatibilidades o malas caracterizaciones de residuos
- Los requisitos de manejo de cada residuo deben ser identificados de acuerdo a sus características físico-químicas

Aceptación de residuos

- Deben definirse requisitos y criterios de aceptación para cada residuo según la operación
- Se requiere previo conocimiento de cada residuo para asegurarse de que cumple los requisitos de aceptación y que no va a afectar el proceso.
- La información del residuo debe ser provista por el generador
- La aceptación debe ser en 2 etapas:
 - A) pre aceptación (pre-screening): análisis de la información y evaluación de muestras de los residuos para determinar factibilidad de manejo, previo a llegar a un arreglo con el generador
 - B) Aceptación en sitio (on site acceptance): implica la confirmación de las características previamente aceptadas una vez que el residuo llega al sitio de pre-procesamiento / recepción.



Pre-aceptación

- Debe existir un protocolo para pre-aceptación previo a embarque que asegure que sólo se manejen flujos de residuos peligrosos aprobados para transporte hasta la facilidad de recepción.
- Para cada residuo, el operador debe obtener información sobre:
 - Proceso que origina el residuo y su variabilidad
 - Composición química
 - Requisitos de manejo y riesgos asociados
 - Cantidad y forma (sólido, líquido, lodo, etc)
 - Muestras
- Las muestras deben ser tomadas por técnicos competentes.
- El operador debe caracterizar los residuos con base en las muestras analizadas en laboratorio. No deben aceptarse materiales sin una clara caracterización (perfil de residuo) con excepción de materiales puros, sin uso, fuera de especificación que tienen su MSDS bien documentada.
- El operador debe tener un plan de análisis de residuos que explique las pruebas físicas y químicas que se les hace, realizados por personal calificado y que comprenda las capacidades de la operación.
- Deben mantenerse registros de pre-aceptación para control cruzado, fácilmente disponibles

Aceptación en sitio (on-site)

- La verificación en sitio es para confirmar las características de cada residuo y conformidad con criterios de aceptación. Debe existir un procedimiento que considere:
 - Capacidad de recepción
 - Control de tráfico
 - Chequeo de documentos
 - Inspección de cargas, muestreo y pruebas
 - Rechazo de residuos y reportes de discrepancias
 - Registros
 - Revisión periódica de información de aceptación
- No deben aceptarse residuos sin información escrita y detallada que identifique la fuente, composición y niveles de riesgo (perfil de residuo)
- Cuando no se pueda cumplir lo anterior el operador debe informar a las autoridades

Recepción e inspección

- Personal capacitado y calificado debe supervisar la recepción de residuos peligrosos
- Todo residuo debe considerarse como «desconocido» y como peligroso hasta que se verifique que cumple con las especificaciones y criterios de aceptación
- Una descripción escrita del residuo debe acompañar cada entrega, la cual debe incluir al menos: nombre y dirección del generador, nombre y dirección del transportista, clasificación y descripción del residuo, volumen y peso, riesgos asociados al residuo (inflamabilidad, reactividad, toxicidad y corrosión).
- La documentación debe ser revisada y aprobada, caso contrario el material debe ser rechazado y devuelto al generador o enviado a otra operación que lo pueda recibir.
- Donde sea posible, cada carga debe ser visualmente inspeccionada. Cada contenedor debe estar etiquetado de acuerdo a regulaciones locales.
- Toda carga de ingreso debe ser pesada, a menos que exista una forma confiable de estimar el peso volumetricamente
- La inspección de residuos para pre-proceso o almacenamiento puede incluir una verificación analítica de su composición química y física conforme al protocolo de aceptación, excepto aquellos materiales sin uso, puros, fuera de fecha y especificación.
- La inspección varía desde una simple inspección visual hasta un análisis completo de sus características químicas, lo cual depende de la composición del residuo y su variación, dificultades de manejo o sensibilidades propias de la instalación

Recepción e inspección Con't

- La operación debe tener un área definida para muestreo y recepción, considerando segregación según compatibilidades
- Idealmente el muestreo debe ser antes de las 24 luego de la descarga. Durante ese período no se pueden mezclar ni acumular cargas
- Muestreo debe seguir la normativa local cuando exista o sino estándares internacionales (ie. ASTM), supervisado por staff del laboratorio.
- Cada muestra debe ser analizada por el laboratorio usando un programa de control y aseguramiento de la calidad robusto
- Huella digital: típicamente los residuos pueden ser muestreados y analizados para sólo algunos parámetros físicos y químicos clave para confirmar lo que se indica en la documentación. Punto 128 define consideraciones para seleccionar parámetros clave
- El esquema de inspección debe considerar parámetros de combustión, pruebas de mezcla de líquidos, punto de inflamación
- Los residuos sólo se deben mover a zona de almacenamiento una vez son aprobados por el laboratorio, caso contrario deben ser movidos a zona de cuarentena, debidamente rotulada
- Toda área de manejo de residuos debe tener una superficie impervios y con un sistema de drenaje sellado. Materiales absorbentes deben estar disponibles.
- Debe verificarse que los residuos no son radiactivos con detectores.
- Debe asegurarse la trazabilidad de los residuos en el manejo interno una vez aprobado para pre-proceso

Recepción e inspección Con't

- **Residuos no conformes:** el operador debe tener una clara política y definición de criterios de aceptación y rechazo de residuos, sin ambigüedades. Esto debe estar documentado en un procedimiento y sistema de trazabilidad, donde se documentan las no –conformidades. Las no conformidades deben devolverse al generador, a menos que exista un arreglo diferente y se envíe a otra alternativa de disposición autorizada.
- **Trazabilidad dentro de la operación:** debe existir un sistema de trazabilidad y control de inventarios para que el operador pueda: preparar la mejor mezcla, prevenir reacciones indeseadas e inesperadas, prevenir y reducir emisiones, y controlar la operación. El sistema puede ser manual, electrónico debe poder registrar todo lo que le pasa al residuo durante aceptación, almacenamiento, procesamiento, etc. En cualquier momento, el operador debe identificar la ubicación de cada residuo y el tiempo que lleva ahí. Con respecto a residuos a granel (bulk) la trazabilidad se complica, sin embargo, los registros de la operación deben poder dar información sobre qué residuos están en cada sitio de almacenamiento. Los residuos en tambores (estañones) deben ser individualmente etiquetados para registrar su localización y duración de almacenamiento. El registro de trazabilidad debe ser amplio y accesible (ver 141) y debe permitir reportar sobre: cantidad y tipo de residuos presente en el sitio en cada momento, cantidad pendiente de preproceso, cantidad en almacenamiento, clasificación por riesgos, localización, comparación con cantidad permitida de cada sitio y con tiempo permitido de almacenamiento.

Almacenamiento y manejo

- El operador debe tener un sistema y un procedimiento para almacenamiento
- Las consideraciones para almacenamiento incluyen: localización, infraestructura, condición de tanques, estañones y otros contenedores, control de inventarios, segregación, seguridad (security) y control de riesgo de incendios
- Consideración de diseño:
 - cada bodega debe estar diseñadas para derrames accidentales (con límites adecuados, sellados, impermeables y resistentes al tipo de residuo almacenado), evitar mezcla de residuos incompatibles, sistemas de drenajes, sistemas de detección de fugas, alarmas para condiciones anormales, desvío y almacenamiento de aguas contaminadas. La bodega debe permitir mantener la calidad del residuo durante su almacenamiento. Todo residuo en contenedores debe ser bajo cubierta, protegidos del calor, luz solar y lluvia excepto cuando se sepa que el residuo no sería afectado por dichas condiciones.
 - Se debe evitar acumulación de residuos peligrosos más allá de tiempos permitidos. Los líquidos deben ser agitados y mezclados
 - El tipo de material y equipo de almacenamiento debe ser adecuado para el tipo de residuo
 - Buena ventilación y protección contra incendio son requeridos, de acuerdo al tipo de residuos que se maneja

Almacenamiento y manejo

- Consideraciones operativas:
 - El operador debe tener procedimientos escritos para descarga, manejo y almacenamiento, contemplando compatibilidad de residuos y segregación. Esto debe ser auditado periódicamente
 - Hay que designar rutas para los vehículos que cargan sustancias peligrosas dentro de cada bodega o sitio de operación. Los equipo móviles deben ser adecuados para el propósito y revisados periódicamente
 - Toda carga debe ser identificada apropiadamente de acuerdo a su compatibilidad y asegurada para prevenir deslizamientos, volcaduras, etc durante su manejo.
 - Las áreas deben tener señalización adecuada indicando riesgos
 - El mantenimiento de las áreas operativas debe ser cuidadoso y seguir procedimientos para: trabajo en alturas, trabajo en espacios confinados, bloqueo y etiquetados, trabajos en calientes, etc.

Pre-procesamiento de residuos

- Para lograr una operación óptima los hornos requieren una alimentación de material uniforme tanto en cantidad como en calidad.
- Pre-proceso de sólidos incluye: secado, trituración, molienda, mezclado, clasificación, pelletizado, etc.
- Pre-proceso de líquidos implica mezclado de diferentes productos con características fisico-químicas compatibles. A veces se requiere remoción mecánica o química de agua, sedimentos, contaminantes metálicos o aditivos.
- Consideraciones de diseño de facilidades:
 - La distribución debe considerar accesos para el día a día, rutas de escape y mantenimiento de la planta y equipos
 - Deben aplicarse estándares reconocidos para el diseño de las instalaciones y equipos
 - El diseño debe considerar una cuidadosa evaluación de riesgos de SSO y ambiente.
- Consideraciones operativas:
 - El mezclado y homogenización debe seguir una «receta» prescrita por los riesgos asociados
 - En caso de usar grúas, los operadores deben ser capaces de identificar cargas problemáticas que puedan causar atascos y otros problemas
 - Orden y limpieza es un requisito para evitar problemas de SSO y anticipar situaciones operativas complicadas

Cierre de planta de pre-proceso

- El plan de cierre de una planta de pre-proceso debe estar considerado desde su diseño e inicio del proyecto
- Cuando se cierra una planta se debe detener ingresos, agotar inventarios y procesar todo lo que está, descontaminar equipos, estructuras y restaurar el sitio.
- Los operadores deben cerrar las plantas de tal manera que se evite mantenimiento adicional y que se escape cualquier sustancia peligrosa al ambiente.
- Los operadores deben demostrar que tienen los recursos financieros necesarios para costear el desmantelamiento y cierre de la operación al final del proyecto.



Otros aspectos ambientales

- Cada operación debe tener un plan de monitoreo y reporte de emisiones de acuerdo a los permisos operativos y regulaciones aplicables
- En caso de ser necesario la operación debe contar con medidas de control y eliminación de olores, ruido, polvo y VOCs
- Los estañones (tambores) vacíos deben ser dispuestos de una manera amigable con el ambiente. Los residuos de metal libres de contaminantes (a un grado que puedan considerarse peligrosos) pueden ser reciclados.
- Cualquier descarga de agua residual debe cumplir normativa local aplicable y deben ser monitoreadas frecuentemente
- Toda emisión o descarga de efluente debe monitorearse y reportarse.





CO-PROCESAMIENTO

Breve resumen



Introducción

- Para un óptimo desempeño se requiere alimentar combustibles y materias primas alternas en puntos apropiados del horno, con buenos sistemas de control de calidad y de emisiones
- El co-procesamiento dispone de las siguientes características durante el proceso de producción:
 - Condiciones alcalinas que favorecen la absorción de compuestos volátiles y que reducen emisiones de SO₂, HCl y otros metales pesados excepto mercurio, cadmio y talio
 - La reacción de clinker a 1450 C permite la incorporación de metales y cenizas al clinker
 - La sustitución directa de combustible primario con materiales de alto poder calórico permite una mayor eficiencia energética que otras alternativas de «waste to energy».



Requisitos operativos

- Un co-procesamiento seguro y responsable requiere de una selección cuidadosa de los puntos de almacenamiento y un amplio sistema de control operativo
- Selección de puntos de inyección:
 - Deben ser acordes al tipo de residuo, según sus características fisico-químicas
 - Los puntos más comunes son: quemador principal en la salida del horno rotativo, ducto de alimentación en la cámara de transición en la entrada del horno, quemadores secundarios en el ducto riser, quemador de precalcinador, ducto de alimentación al precalcinador y una válvula de alimentación en la mitad del horno (para hornos largos y húmedos). Ver fig III
 - Líquidos: normalmente se inyectan en la parte más caliente del horno.
 - Sólidos: pueden ser introducidos en zonas de calcinación
 - Materias primas sólidas: aquellos residuos usados como materias primas sólidas son alimentados por la misma vía que el crudo pero cuando tienen algún contaminante que puede ser volátil a bajas temperaturas debe ser alimentado en zonas de alta temperatura.
 - Cualquier residuo que tenga compuestos orgánicos e inorgánicos volátiles NO puede ser alimentado por la misma vía que la materia prima tradicional a menos que pruebas de laboratorio y de emisiones demuestren que no afectan las emisiones.
 - Residuos peligrosos con sustancias orgánicas halogenadas requieren suficiente temperatura y tiempo de residencia. En hornos con precalentador o precalcinador dichos residuos pueden ser alimentados por el quemador principal o los secundarios.

Requisitos operativos ... con't

- Selección de puntos de inyección Con't:
 - Los quemadores principales son preferibles para residuos peligrosos por sus condiciones de oxidación a alta temperatura > 1800 C
 - Los residuos alimentados por quemadores secundarios, precalentadores o precalcinadores estarán expuestos a menores temperaturas (> 1000 C en precalcinadores).
 - Los gases de combustión deben permanecer al menos a 850 C por más de 2 segundos. En caso de sustancias peligrosas con más de 1% de sustancias orgánicas halogenadas (expresadas como cloro) deben permanecer a > 1100 C por más de 2 segundos.
 - En USA, la disposición de PCBs requiere 1200 C y 2 segundos de retención de gases (a 3% de exceso de oxígeno en el gas de la chimenea).
 - La inyección de residuos peligrosos requiere:
 - Puntos apropiados en términos de temperatura y tiempo de residencia de gases, según diseño y operación del horno
 - Todo material orgánico que pueda volatilizarse antes de la zona de calcinación debe alimentarse en zonas de alta temperatura
 - El horno debe operar de tal manera que el gas resultante del proceso suba en una forma controlada y homogénea, aún en las condiciones menos favorables, manteniendo una temperatura >850 C y > 2 segundos
 - La alimentación debe ser continua y constante
 - Debe detenerse la alimentación si no se cumplen los tiempos de residencia y temperaturas .

Requisitos operativos ... con't

- Control de operación del horno:
 - Los mismos principios de buen control operacional de un horno aplicables a combustibles y materias primas convencionales deben aplicarse en el caso de materias primas y combustibles alternos
 - Los operadores de horno deben ser calificados y debidamente entrenados, incluyendo manejo y consumo de sustancias peligrosas, aspectos ambientales y de SSO
 - Cuando hay descontroles operativos debe estar claramente definido en un procedimiento qué hacer y cómo detener la inyección de alternos hasta estabilizar la operación
 - El contenido mineral de los residuos puede afectar la calidad del clinker por lo que la composición de la harina cruda debe modificarse/ajustarse.
 - Se deben establecer límites de entradas de cloro, azufre, alkalies, etc.
 - Para la combustión y estabilidad del proceso y para evitar la formación sin intención de POPs es importante asegurar:
 - la consistencia en las características de los combustibles convencionales y alternos
 - La consistencia en la tasa de alimentación y frecuencia de introducción de materiales en lotes
 - Un adecuado exceso de oxígeno para asegurar buena combustión
 - El monitoreo continuo de CO en los gases de salida para garantizar buena combustión

Aspectos ambientales

- Emisiones de aire:
 - El anexo 2 incluye una descripción de fuentes y BAT de prevención y reducción de emisiones
 - Los hornos de cemento que co-procesan residuos peligrosos deben cumplir con un límite de emisión de PCDDs/PCDFs de 0.1 ng I-TEQ/Nm. Para otros contaminantes se debe remitir a la legislación local
 - Las autoridades competentes debieran considerar el establecimiento de períodos máximos permitidos para cualquier condición técnica anormal (paradas, distorsiones, fallas en sistemas de purificación, etc) durante los cuales se exceda los límites establecidos.
- Bypass de polvo (cement kiln dust – CKD):
 - Todo horno de cemento genera CKD que puede contener contaminantes
 - Este polvo puede ser reintegrado al proceso en el molino de clinker o utilizado en aplicaciones comerciales (usos agrícolas, estabilización de pavimentos, etc)
 - Las propiedades del CKD dependen del tipo de horno, operación y sistemas de recolección, combustibles y materiales usados.
 - Se recomienda analizar periódicamente la composición del CKD que se descarte cuando se co-procesan sustancias peligrosas para proteger la salud pública y el medio ambiente, evitar contaminación de acuíferos. Ver 211

Aspectos ambientales

- Descargas de agua:
 - Usualmente las descargas de agua se limitan a aguas superficiales (lluvia) o aguas de enfriamiento y normalmente no causan contaminación significativa.
 - Cuando se utilicen «wet scrubbers» para limpiar gases de salida y se co-procesen sustancias peligrosas donde se puedan transferir contaminantes del aire al agua deben cumplir regulaciones especiales
- Control de calidad de producto de salida:
 - Como principio general, el co-procesamiento no debe alterar la calidad del cemento que se produce. Esto implica que el clinker, el cemento y el concreto producido no debe usarse como forma de acumular o almacenar metales pesados. No debe haber impactos negativos al ambiente lo cual se demuestra con pruebas de lixiviación en concreto o morteros. Ver más detalles de 215-220



Monitoreo

- El monitoreo de emisiones debe ser ejecutado para que las autoridades verifiquen el cumplimiento de las condiciones operativas y permisos, y para ayudar a los operadores a manejar y controlar mejor el proceso, previniendo emisiones indeseadas
- Es responsabilidad de la autoridad competente establecer y definir requisitos de calidad de emisiones adecuados, y establecer un rango de protección.
- Se recomienda el uso de un sistema de auto-monitoreo con un chequeo periódico externo por un laboratorio externo acreditado
- **Control de proceso:** para controlar el proceso del horno, se recomienda medición continua de:
 - Presión, temperaturas, O₂, Nox, CO, SO₂
- **Control de emisiones:** se requiere medir:
 - Flujo de gases de salida, humedad, temperatura, polvo (partículas), O₂, Nox, SO₂ y CO
 - Se recomienda medir TOC (VOCs) de manera continua
 - Periódicamente se debe medir al menos una vez al año: metales pesados (ver 228), HCl, HF, NH₃, PCDDs/PCDFs
 - Para la destrucción de COPs debe demostrarse la DRE

Monitoreo ... con't

- **Monitoreo ambiental:** el operador debe establecer un programa de monitoreo de calidad de aire, enfocado en posibles principales contaminantes, preferiblemente en localizaciones donde se dirige el viento.
- **Requisitos de reporte:** Los reportes pueden ser locales, nacionales o especiales. Las buenas prácticas de reporte definen audiencias, responsabilidades de producción de reportes, alcances y aspectos legales. Deben ser accesibles y precisos. Ver más en 236-240