

# MEJORA DEL CALENTAMIENTO DE ACERO LÍQUIDO PARA LA COLADA CONTINUA DE ADELCA

Andrea Paulina Gualotuña Segarra<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Área de Fundición, Acería del Ecuador ADELCA, Aloag, pgualotunia@adelca.com

## Resumen:

Las organizaciones eficientes reconocen que para ofrecer lo que sus clientes necesitan, deben enfocarse en mantener y mejorar los procesos. Considerando esta premisa, se establece la importancia de controlar el proceso de calentamiento de acero líquido para la colada continua mediante la aplicación de la Ruta de la Calidad en el área de Fundición de la empresa ADELCA, según la fase de análisis e interpretación de resultados, se ha establecido como objetivo reducir a 15°C la variabilidad de la temperatura de acero líquido tomada en *Tundish*, (1545° a 1560°C); para garantizar que el sistema automatizado de enfriamiento primario y secundario de colada continua extraiga el calor uniformemente a lo largo del lingote y se evite la formación de defectos internos y superficiales en la palanquilla.

Con la implementación de actividades propuestas por el equipo de mejora, se estableció los lineamientos de trabajo basado en el diagnóstico de la situación inicial del proceso, para de una forma práctica aplicar algunas herramientas y ajustarlas a la realidad de esta empresa con base al direccionamiento de la secuencia lógica de ocho actividades de la metodología de la Ruta de la Calidad, basada en el Ciclo Deming: Planear, Hacer, Verificar y Actuar; lográndose la estabilización de la variable temperatura dentro de los rangos, además de crear una sinergia interdepartamental. Adicionalmente se definen posibles nuevos proyectos los cuales permitirán que la empresa continúe con el proceso de mejora continua generando una cultura de estabilidad en la empresa mejorando el desempeño del recurso humano y sobre todo la calidad interna de la palanquilla.

## Palabras clave:

Mejora continua, Ruta de la Calidad, Proceso Calentamiento de Acero líquido, Colada Continua, Palanquilla.

## Abstract:

Efficient organizations recognize that to deliver what your customers need, should focus on maintaining and improving processes. Given this premise, it establishes the importance of controlling the heating of liquid steel for continuous casting by applying the Route of Quality in the Steel Making of ADELCA, according to the phase of analysis and interpretation of results, target is set at 15 ° C to reduce the variability of the liquid steel temperature taken in *Tundish*, (1545 ° to 1560 ° C). The control of temperature variability in *Tundish* of liquid steel ensures that the automated system primary and secondary cooling of continuous casting removed the heat uniformly throughout the billet to avoid formation of internal and surface defects.

With the implementation of activities proposed by the improvement team formed, who established the guidelines of work based on the diagnosis of the initial situation for a practical way apply some tools and adjusts to the realities of this company based on the logical

sequence of eight activities proposed by the methodology of the Route of Quality, based on Deming Cycle: Plan, Do, Check and Act to achieve the stabilization of temperature variable within the ranges established to complete the proposed goal and create interdepartmental synergy, showing the effectiveness of this tool for continuous improvement. Additionally define possible new projects which will allow the company remains with the process of generating a continuous improvement culture, the performance of human resources and especially the internal quality of the billet.

**Key words:**

Continuous improvement, Quality Road, liquid steel heating process, Continuous Casting, Billet.

## **I. Introducción**

La fabricación del acero juega un papel trascendental en el desarrollo histórico de la humanidad. La demanda mundial ha incrementado los precios principalmente de la materia prima como la planchuela, base para la fabricación de varillas y perfiles utilizados en la construcción.

La función principal del área de Acería, donde se desarrolla el presente trabajo es fundir chatarra ferrosa reciclada hasta convertirla en una colada de acero líquido para ajustarla a la composición química requerida y luego someterla a un proceso de enfriamiento para la obtención de planchuelas de acero, este proceso de solidificación requiere de un control de variables especialmente la temperatura de la colada, para garantizar la calidad interna y externa del producto final.

A lo largo de este trabajo se observa la implementación de una secuencia lógica de ocho actividades propuestas por la metodología de la Ruta de la Calidad, basada en el Ciclo Deming, para lograr la estabilización de la temperatura en un rango de 1545° a 1560°C, además de crear una sinergia interdepartamental.

El proceso de mejora se ha dividido en dos partes, en la primera fase se realiza una introducción de la Empresa Acería del Ecuador C.A. ADELCA y su área de fundición enfatizando el calentamiento de acero líquido para la colada continua, proceso en el cual se aplicará la Ruta de la Calidad para luego explicar paso a paso el despliegue de las actividades basadas en el Ciclo Deming: Planear, Hacer, Verificar y Actuar; considerando el diagnóstico en donde se recopilan las principales evidencias de las causas que generan inestabilidad al proceso. La segunda fase arranca con la aplicación de condiciones de trabajo y los resultados obtenidos con la implementación de las actividades propuestas para mejorar el proceso, luego documentar los posibles nuevos proyectos los cuales permitirán que la empresa continúe con el proceso de mejora.

## **II. Metodología**

Para la aplicación de la metodología de la Ruta de la calidad en el área de Fundición de Acería del Ecuador C.A. ADELCA se ha adoptado la siguiente metodología:

**Conformación del Grupo de Mejora:** se seleccionó a un grupo multidisciplinario de personas relacionadas con el área de colada continua, el cual en base a su experiencia e influencia ayudan a implementar las propuestas de solución a la problemática del proceso, el

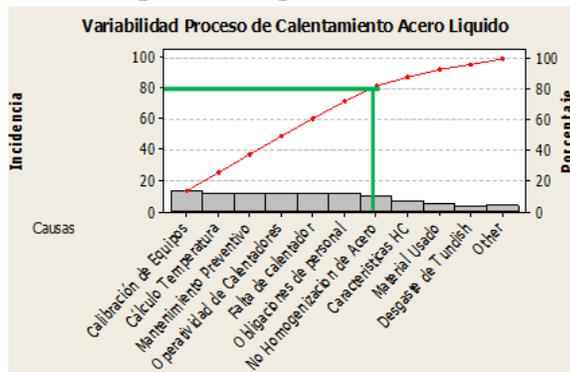
grupo contó con un Líder del Proyecto, un Auditor, Asesor, Participantes y Responsables del Mantenimiento Eléctrico – Electrónico y Mecánico. El buen desempeño de este equipo de mejora fue gracias al liderazgo y el seguimiento continuo de las actividades.

**Definir el proyecto:** se estableció el objetivo de mejora de acuerdo a los parámetros idóneos para el proceso de calentamiento de acero líquido en colada continua, se debe realizar la justificación del proyecto para el conocimiento de todos involucrados.

**Describir la situación actual:** se diagnosticó la situación real del proceso para evidenciar los problemas; para ello se elaboró un formato de recolección de datos durante 2 meses, para luego representarlos gráficamente mediante el uso del programa MINITAB (Licencia Educativa), se ha empleado histogramas, análisis de capacidad del proceso, resumen estadístico. Adicionalmente se ha empleado un ensayo macrográfico, para conocer como estas variables influyen en la calidad interna del producto (palanquilla).

**Analizar Hechos y Datos:** se analizó los comportamientos atípicos y los que requieren mayor atención en el proceso basados en la variación observada; por parte de los operadores se mencionó factores que contribuyen a la inestabilidad y para corroborar estos aportes se los revisó mediante histograma de barras, resumen estadístico y un análisis de correlación de variables. Una vez identificadas las causas probables, y en reunión con el grupo de mejora, se otorgó un peso a cada una de las posibles y se las priorizó en el Diagrama de Pareto.

**Figura 1.** Diagrama de Pareto



Con los miembros del grupo de mejora y según el Diagrama de Pareto se realiza un análisis del porqué de las causas y se determinan acciones remediales para solucionar temporalmente la variación de temperatura de Acero líquido en el *Tundish* hasta implementar las acciones definitivas para eliminar la causa raíz.

**Establecer acciones:** con el grupo de mejora se propuso acciones para mitigar cada una de la causa- raíz, se establece un programa de seguimiento de datos de las actividades ejecutadas, adicionalmente se continuó recolectando la información en los formatos empleados y se fue evaluando la ejecución, incluyendo los Ensayos de macrografía. Adicionalmente, se estableció un plan de contingencia por cada acción propuesta para que en las reuniones periódicas el grupo pueda aplicarla bajo la dirección del Responsable del proyecto.

**Figura 2. Plan de Acción**



**PLAN DE ACCIÓN**

PROYECTO: MEJORA DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO DE ACERO LÍQUIDO PARA LA COLADA CONTINUA EN ADELCA

Nº Acción	Qué (Acciones)	Quién (Responsable)	Donde (Area)	Cuándo (Semana)					Cómo
				1	2	3	4	5	
1	Garantizar la calibración de equipos de toma muestra de temperatura y revisión de área de toma de muestra	Líder del Proyecto (PG) Responsable de Mantenimiento (JC)	Mantenimiento						Establecer el plan de calibración de las lanzas de toma temperaturas (Registros de Calibración)
2	Cálculo de la temperatura líquidas de colada de Acero líquido	Líder del Proyecto (PG) Jefatura de Producción (MC)	Producción						Unificar criterios con todos los turnos para elaborar una fórmula básica de cálculo de la temperatura que considere las variables que influyen en la misma
3	Operatividad de los calentadores de Cuchara y de Tundish	Líder del Proyecto (PG) Jefe de Producción (MC)	Producción						Establecer con el personal involucrado (Operador de Cuchara, Colador 1) las condiciones de uso y operatividad de los Calentadores de Cuchara y Tundish para establecer los criterios básicos de tiempo y tipo de calentamiento por recipiente)
4	Reafirmación de Obligaciones del personal de colada continua	Líder del Proyecto (PG) Jefe de Producción (MC)	Producción						Revisar las responsabilidades de cada una de las personas que intervienen en el proceso
5	Adquisición de un nuevo calentador de cuchara automatizado	Jefe de Compras (LT)	Adquisiciones						Determinar características de un calentador de cuchara automatizado, cotizar, negociar, colocar orden de compra
6	Inhibidor de Turbulencia para homogenización de temperatura en Tundish	Líder del Proyecto (PG) Jefatura Refractarios (ID)	Refractarios						Revisar con el proveedor de refractarios, el diseño de un inhibidor de turbulencia, fabricarlo y colocarlo en el Tundish
7	Elaborar Plan de mantenimiento preventivo de Equipos de Calentamiento	Líder del Proyecto (PG) Jefe de Producción (MC) Mantenimiento (JC,FC)	Mantenimiento						Elaborar una frecuencia de revisión de los calentadores de cuchara y calentadores de Tundish para garantizar el funcionamiento de estos.

**Ejecutar las acciones establecidas:** los pilares fundamental de la implementación fueron la comunicación al personal responsable directa e indirectamente de las acciones mediante las actas de Seguimiento de Reuniones, y la capacitación donde la empresa invirtió en una formación que afianzó los conocimientos sobre el proceso de calentamiento de acero líquido. Entre las acciones se ejecutaron fueron:

1. Garantizar la calibración de equipos de toma muestra de temperatura y revisión de área de toma de muestra: se revisó el método de toma de muestra y se formalizó a través del procedimiento a la vez que se realizó una verificación de instrumentos de medición de Temperatura en Colada Continua.
2. Cálculo de la temperatura líquidas de colada de Acero líquido: se realizó un seguimiento de tiempos y movimientos desde la salida de la colada hasta el inicio del proceso, se consideró los valores de tiempo promedio de cada una de las actividades que intervienen así como la desviación estándar para mediante constantes elaborar la siguiente fórmula:

**Figura 2. Fórmula de Cálculo de Temperatura Acero Líquido**

$$\text{Temperatura Solicitar HC} = \text{Temperatura Objetivo CC} - \left[ \left( \begin{matrix} \text{Posición} + \text{Subida} + \text{Giro} + \text{Apertura} + \text{Toma} \\ \text{Puente} \quad \text{Torre} \quad \text{Torre} \quad \text{Cuchara} \quad \text{Temperatura} \end{matrix} \right) * \text{Grados perdidos por minuto} \right]$$

$$\text{Temperatura Solicitar HC} = 1550^{\circ}\text{C} + ((01:27 + 01:57 + X + 00:46 + 10:00) * 2,26)$$

3. Operatividad de los calentadores de Cuchara y de Tundish: para establecer los parámetros de operación de los calentadores de Tundish y de Cuchara fue necesario garantizar que estén habilitados totalmente, mediante una evaluación preliminar se conoció el estado inicial de los equipos y con el departamento de mantenimiento se los revisó. Además se

estableció las condiciones de operación en el calentamiento de *Tundish* y cucharas, mediante las curvas de calentamiento de estos equipos.

4. Reafirmación de Obligaciones del personal de colada continua: se revisó el flujo de trabajo, actividades y responsabilidades del personal de colada continua para elaborar un flujo de trabajo comprendido desde la solicitud del Colador 1, hasta la salida del producto terminado, incluyendo actividades de apoyo de calentamiento de Cucharas y de *Tundish*.
5. Adquisición de un nuevo calentador de cuchara: con la autorización de la dirección técnica y el establecimiento de especificaciones, se adquirió un nuevo calentador de cuchara que contribuirá a alcanzar una holgura en el proceso de calentamiento de cucharas.
6. Inhibidor de Turbulencia para homogenización de temperatura en Tundish: luego de las fases de diseño, construcción y puesta de muestra del prototipo del inhibidor de turbulencia al realizar la relación costo beneficio, se decidió dejarlo pospuesto y colocarlo como futuros proyectos de diseño o mejora para luego ser aplicados como parte del proceso de estabilización pues no se alcanzó los resultados esperados.
7. Elaborar Plan de mantenimiento preventivo de Equipos de Calentamiento: se asignó a un responsable de la elaboración de los planes de mantenimiento preventivo del área mecánica y eléctrica-electrónica, quien realizó un Check List, un Programa mensual y una Guía de Ejecución de Trabajo para detectar síntomas de daños en los Calentadores, los cuales se van a incorporar al procedimiento de Mantenimiento General establecido para la planta de acería.

**Verificar los resultados:** se consideró la recopilación de datos de todas las coladas generadas en un mes, de estas se verificó los resultados obtenidos, mediante la realización de gráficas que permitieron visualizar de mejor manera el desempeño de las actividades implementadas y realizar una comparación del antes con el ahora.

**Estandarizar:** considerando los resultados obtenidos y la estabilidad en el proceso, en conjunto con la Dirección Técnica y el grupo de trabajo se incluyó estos procedimientos en el Sistema de Gestión de Calidad, a la vez mediante un sistema de aseguramiento con auditorías periódicas a cargo del Auditor del Proyecto se buscó retroalimentar los nuevos procesos y verificar el cumplimiento de los estándares establecidos.

**Documentar y definir nuevos proyectos:** mediante un reporte 3 generaciones se documentó el proceso de mejoramiento, y con el uso de un gráfico de radar se evaluó el trabajo del grupo de mejora, en este punto se elaboró una lista de las nuevas oportunidades encontradas para proponerlas como futuros proyectos.

### III. Evaluación de resultados y discusión

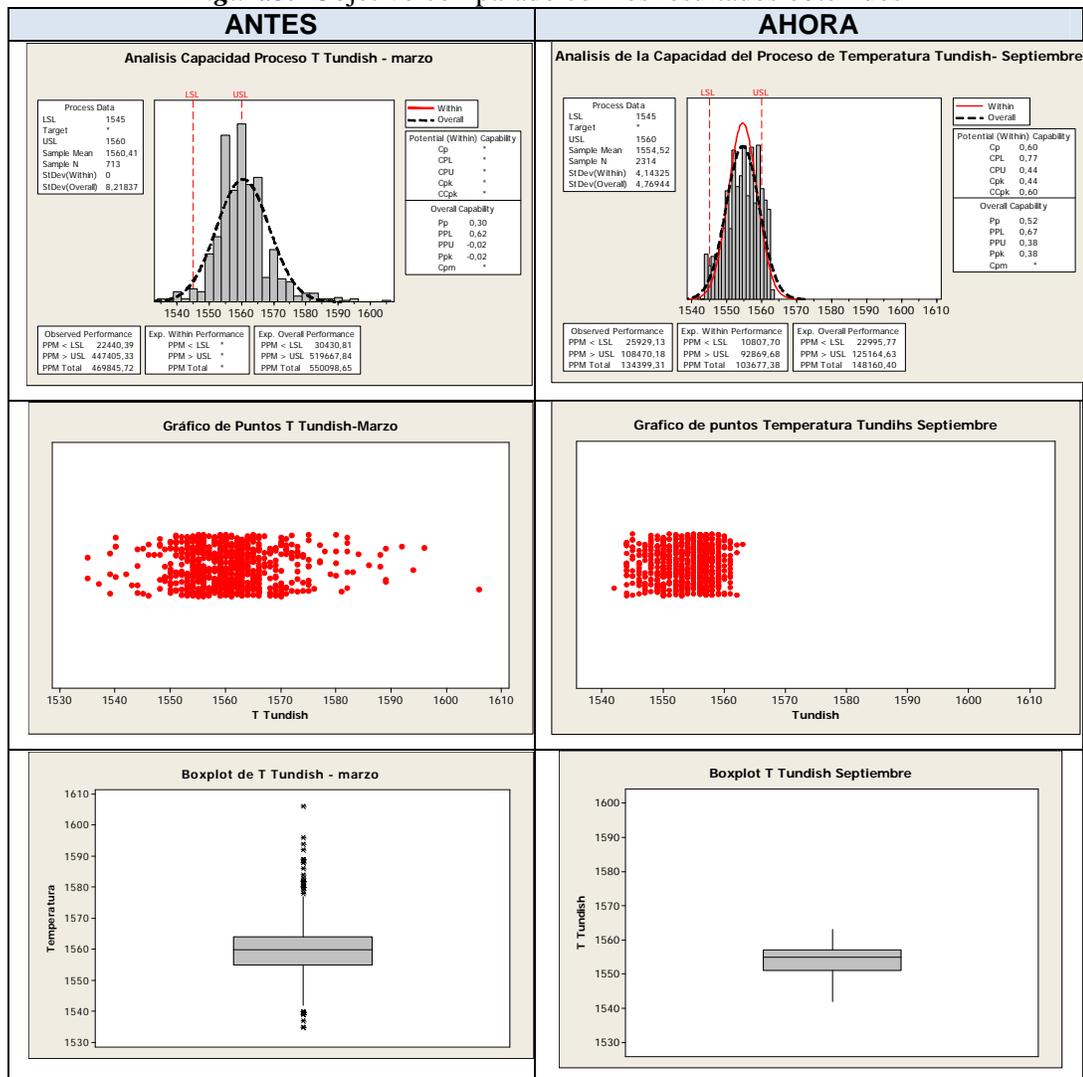
Luego de la fase de implementación de acciones propuestas, se observó un proceso notable de mejora, el cual está encaminado a reducir a 15°C la variabilidad de la temperatura de acero líquido tomada en *Tundish*, de los resultados obtenidos comparados con la meta planteada se puede concluir que:

**Tabla 1.** Comparación de resultados Antes y Ahora

OBJETIVO	ANTES	AHORA
Reducir a <b>15°C</b> la variabilidad de la temperatura de acero líquido tomada en <i>Tundish</i> , para el proceso de Colada Continua. Rango Temperatura <b>1545 a 1560 °C</b>	71°C	21°C
	1535-1606 °C	1542-1563 °C

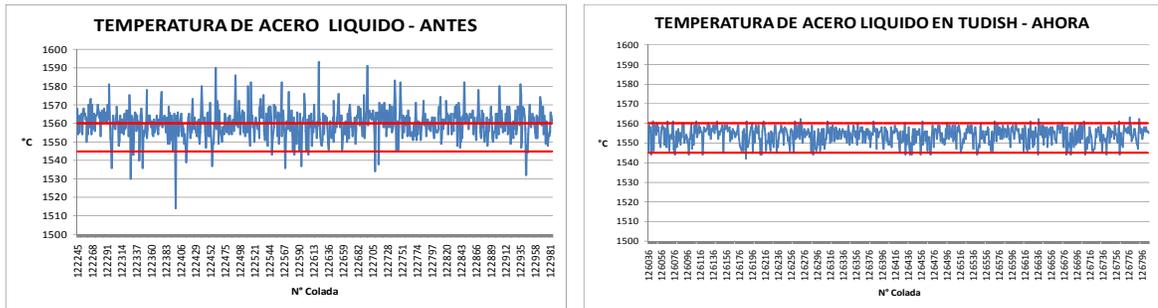
El grupo de mejora en conjunto con la Dirección Técnica consideró que el proceso está inmerso dentro de la mejora continua y se solicitó que se mantenga estos resultados sosteniblemente durante 6 meses para luego mediante nuevas oportunidades que pueden incluir la tecnología, mejorar el proceso.

**Figura3.** Objetivo comparado con los resultados obtenidos



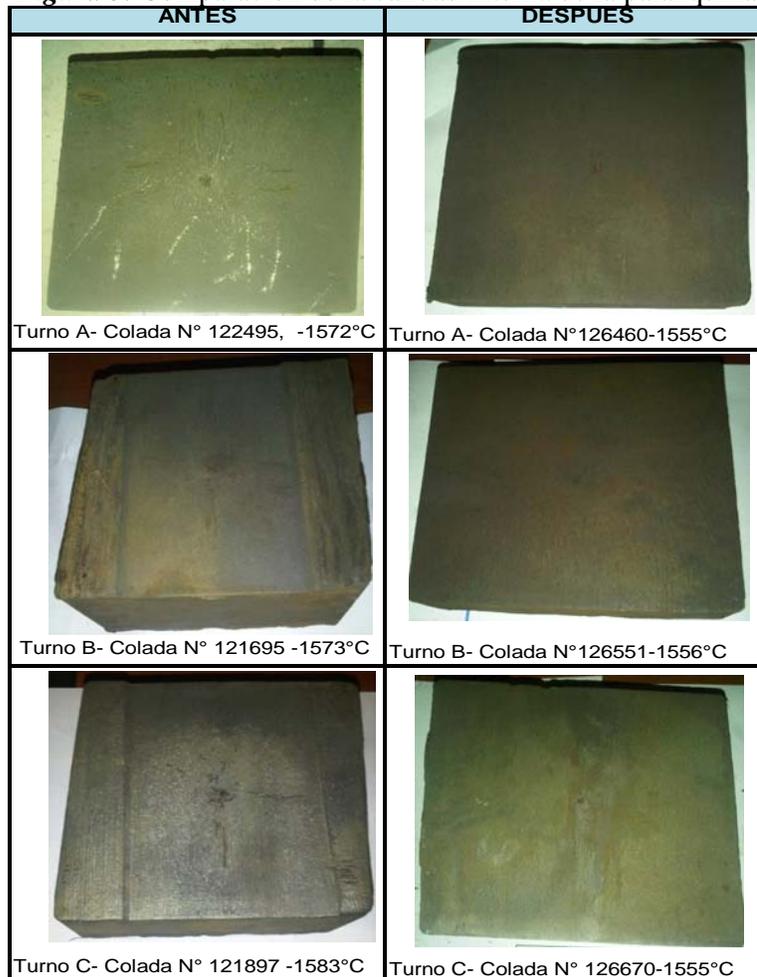
**Comparar el antes contra el después:** Se observa que todavía existen puntos que se encuentran fuera de los límites superior e inferior pero el proceso está más controlado.

**Figura 4.** Temperatura de Acero líquido en *Tundish* ANTES- AHORA



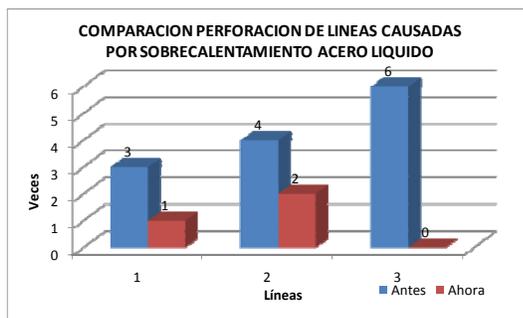
Un punto clave de la aplicación de acciones en el proceso de calentamiento de acero líquido en *Tundish* es la mejora de la calidad interna de la palanquilla

**Figura 5.** Comparación de la calidad interna de la palanquilla



Adicionalmente se disminuyó las perforaciones de líneas causadas por sobrecalentamiento de acero líquido.

**Figura 6.** Perforación de líneas por sobrecalentamiento de Acero líquido



#### IV. Conclusiones y Trabajo Futuro

A lo largo de la ejecución del presente trabajo se puede concluir lo siguiente:

1. La Ruta de la Calidad proporciona las bases para la aplicación y la gestión eficaz de actividades orientadas a resolver los problemas relacionados con la inestabilidad de un proceso, en este caso el de calentamiento de Acero Líquido para colada Continua, permitiendo aprovechar oportunidades, fortalecer a la organización y reducir los efectos de las debilidades y amenazas.
2. Acciones como: garantizar la calibración de equipos de toma de muestra de temperatura, la operatividad de los calentadores de cuchara y de *Tundish*, establecer una fórmula básica para el cálculo de temperatura de Acero líquido, adquirir un nuevo calentador de cuchara automatizado junto a un plan de mantenimiento preventivo de los equipos de calentamiento han permitido reducir la variabilidad de la temperatura de acero líquido en *Tundish*, además de ayudar a conservar adecuadamente el equipo; reafirmar las obligaciones del personal de colada continua, propiciando una cultura de mejora continua en el área de Fundición.
3. Al reducir la variabilidad del proceso de calentamiento de Acero líquido mediante la Ruta de la Calidad se logró que la temperatura de acero líquido en *Tundish* esté dentro de los límites de control lo que garantizó que el sistema automatizado de enfriamiento primario y secundario de colada continua, extraiga el calor uniformemente a lo largo del lingote y se eviten la formación de defectos internos.
4. Los resultados de la implementación de la Ruta de Calidad en el proceso de calentamiento del acero líquido para colada continua permitió mejorar la situación de la empresa ACERIA DEL ECUADOR C.A. ADELCA al estabilizar y estandarizar dicho proceso, evitando pérdidas por solidificación prematura, que coadyuvó a mejorar la calidad interna de la palanquilla y el desempeño del recurso humano.
5. Una vez que una empresa se embarca en la mejora continua, nunca podrá permanecer estática, o considerar que ha alcanzado la cima en lo que a los logros en la calidad se refiere, seguirá generando nuevos proyectos para trabajar con los equipos de mejora.
6. El recurso humano de ACERIA DEL ECUADOR C.A. ADELCA, jugó un papel importante a lo largo del proceso de implementación de la Ruta de la Calidad ya que ofrecieron la apertura necesaria y se habituaron a una cultura de trabajo en equipo, creando

un ambiente de confianza al momento de desempeñar sus actividades logrando la estandarización de las mejoras obtenidas. La Cultura de Trabajo es la parte más importante en cualquier proceso de mejora.

7. Para iniciar un proceso de mejora continua en una empresa se debe contar con la decisión y el apoyo humano, material y financiero por parte de los directivos de la organización, quienes deben estar conscientes de la inversión que debe realizarse, tiempo de asignación y capacitación del personal, para mejorar continuamente.

**Trabajos Futuros:** un problema casi nunca se resuelve a la perfección, ni las mejoras se logran en su totalidad, por lo tanto considerando la información dentro del Equipo de Mejora se determinó que no es conveniente continuar con las mismas actividades sobre un mismo proyecto por mucho tiempo, sino fortalecer los logros obtenidos y estandarizando las mejoras.

En base a los logros obtenidos y luego de revisar todas las acciones ejecutadas, se recopilan las siguientes oportunidades de mejora con el fin de enriquecer la planeación y ejecución de un ciclo futuro de mejora con aplicación de Ruta de la Calidad dichas propuestas son:

1. Lectura continua de temperatura de acero líquido en el Tundish: implementar el sistema de inmersión de una termocupla fija desechable diseñada para medir continuamente la temperatura sin importar la secuencia de las cucharas, teniendo una repuesta térmica rápida, con bajo costo de fácil mantenimiento, sin comprometer la seguridad del operador.
2. Diseño experimental de tiempo de giro de torreta: aplicar la técnica estadística de diseño experimental para identificar y cuantificar las causas que intervienen en el tiempo de giro de la torreta, considerando las variables vinculadas como: tonelaje de cucharas, líneas operativas, velocidad de colado, tipos de revestimientos refractario, precalentamiento, etc.
3. Uso de válvulas CNC: Las válvulas CNC (Calibrated Nozzles Changer – Intercambiador de buzas calibradas) se emplea para colar el acero líquido sin interrumpir el chorro de acero del Tundish a la cuchara, el cual permite una mayor prolongación de la vida del Tundish, pues principalmente este se cambia por desgaste de las válvulas cerámicas.
4. Sistema Automático de pesaje de Tundish: para un control del nivel del acero y homogenizar de mejor manera la temperatura se requiere un nivel constante, esto se logra con un sistema automático de pesaje por celdas de carga controlados a través de impulsos eléctricos de apertura y cierre de la válvula gaveta permitiendo que el acero líquido aumente o disminuya su flujo.
5. Revestimiento refractario de Tundish y de Cucharas: considerando el exigente rol que cumplen los recipientes de almacenamiento de acero líquido al resistir el choque térmico; se propone revisar la composición de los materiales refractarios que se aplican en la línea de escoria, fondo y pared de las cucharas, con la asesoría de la empresa fabricante poseedores del conocimiento metalúrgico y la tecnología de desarrollo de refractarios.
6. Diseño de un nuevo Inhibidor de turbulencia acorde al Tundish: en la prueba realizada con el inhibidor de turbulencia en el área de acería se tuvo un costo elevado por el uso de material, lo que dificultó continuar con la prueba al realizar la relación costo-beneficio.

Para realizar otra prueba con este sistema y reducir la turbulencia que genera el chorro del acero se solicitaría al proveedor que recomiende una pieza que tenga mayor duración acorde diseño del *Tundish* con tecnología propia de refractarios.

## **V. Trabajos relacionados**

La Ruta de la Calidad ha sido utilizada como un Instrumento de Mejora en el proceso de calentamiento de Acero líquido para la Colada Continua, porque mediante esta metodología se ha podido establecer la problemática real de las condiciones de trabajo y cultura organizacional de la empresa Acería del Ecuador C.A. ADELCA. Frente a estas causas encontradas se ha recopilado bibliografía teórica y tecnología de Calentamiento de Cucharas y *Tundish*, Colada Continua, Refractarios, Control de Temperatura de Acero, etc. elaborado por técnicos en estos campos y las experiencias de empresas Siderúrgicas para considerar la forma de mejorar procesos productivos aplicados a la realidad de esta acería en Ecuador.

## **VI. Agradecimientos**

El desarrollo del presente trabajo mejora del proceso de calentamiento de acero líquido para la continua pudo ser ejecutado gracias al apoyo de la Empresa Acería del Ecuador C.A. ADELCA, representada en la Dirección Técnica del área de FUNDICION quien destinó los recursos humanos, materiales y financieros para la consecución de logros obtenidos.

## **VII. Bibliografía**

Chevrand L., (2010). Curso de Colada Continua. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais ABM.

Madias J., (2011). Curso de Colada Continua. Rosario: Metallon.

Mariño H., (2001). Gerencia de Procesos. Bogotá: Alfaomega.

Matías M., (1995). Las 7 Herramientas Administrativas. Monterrey: ITEMS Centro de Calidad.

Martin A., (2011). Curso de Colada Continua. Buenos Aires: Instituto Argentino de Siderurgia.

Peralta G., (2004). De la filosofía de la calidad al sistema de mejora continua. México: Panorama.

Pozo A., (1996). La Ruta de la Calidad y las 7 Herramientas Básicas. México: ITEMS Centro de Calidad.

Richard J., (2003). The Making, Shaping and Treating of Steel. Pittsburgh: AISE Steel Foundation

Summers D., (2006). Administración de la Calidad. México: Pearson Educación.